

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Návrh vhodného měřicího postupu součásti

The Suitable Measuring Process Proposal of Workpiece

Student:

Marek Zajíček

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Lenka Čepová, Ph.D.

Ostrava 2016

Zadání bakalářské práce

Student: **Marek Zajíček**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: **Návrh vhodného měřicího postupu součásti**
The Suitable Measuring Process Proposal of Workpiece
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Současný stav řešení problematiky geometrických odchylek.
3. Metodika hodnocení odchylek tvaru.
3. Experimentální zkoušky.
4. Zhodnocení výsledků.
5. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, EDIS, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [2] HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. Brno : MM Publishing Praha, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [3] Tichá, Šárka. *Strojírenská metrologie, část 1*. Ostrava : VŠB - TU Ostrava, 2004. ISBN 80-248-0672-X.
- [4] Čepová, Lenka, Petřkovská, Lenka. *Legislativa ve strojírenské metrologii a přesné měření 3D ploch*. Ostrava: Katedra obrábění a montáže FS VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2011, 100 s. ISBN 978-80-248-2514-4.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lenka Čepová, Ph.D.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2015


doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucí bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

16.5.2016

V Ostravě

Zajíc

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

16.5.2016
V Ostravě :



.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Marek Zajíček

Adresa trvalého pobytu autora práce: Nádražní 70, Čelechovice na Hané, 798 16

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

ZAJÍČEK, M. *Návrh vhodného měřicího postupu součásti*: Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2016, 48 stran, 4 přílohy. Bakalářská práce, vedoucí: Ing. Lenka Čepová, Ph.D.

Cílem této bakalářské práce je navrhnout vhodný postup měření odchylky rovinnosti dané součásti. Úvodní část se věnuje problematice geometrických tolerancí, souřadnicovým měřícím strojům, jejich částem, konstrukcí, a nejistotám měření. Experimentální část práce se skládá z měření na třech strojích. Stroje od firmy Mahr a Zeiss byly použity ve firmě John Crane Sigma a.s. Stroj od firmy Wenzel byl použit pro měření ve školních laboratořích. Jsou zde popsány použité měřicí postupy a podmínky měření. V závěru praktické části jsou graficky porovnány naměřené výsledky, popsána problematika měření a navrženy změny na zlepšení.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

ZAJÍČEK, M. *The Suitable Measuring Process Proposal of Workpiece*: Department of Machining, Assembly and Engineering Metrology, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical University of Ostrava, 2016, 48 pages, 4 appendixes. Bachelor thesis, tutor: Ing. Lenka Čepová, Ph.D.

The aim of this bachelor thesis is to proposal suitable process of measuring deviation of flatness of the workpiece. The first part is devoted to the issues of geometric intolerances, coordinating measuring machines, parts of them, construction and to unevennesses of measuring. The practical part consist of measuring on three machines. Machines from company Mahr and Zeiss were used in copany John Crane Sigma a.s. Machine from company Wenzel was used for measuring in school lab. There are described used measuring processes and conditions of measuring. At the conclusion of practical part are graphically compered measured results, described problems of measuring and suggested changes for improvment.

Obsah

Seznam použitého značení.....	3
Úvod.....	4
1. Geometrické tolerance.....	5
1.1 Vysvětlení pojmů	5
1.2 Rozdělení úchylek vůči základně.....	5
1.3 Grafické značení geometrických tolerancí.....	6
1.4 Geometrické tolerance tvaru	7
1.4.1 Přímost.....	7
1.4.2 Rovinnost.....	8
1.4.3 Kruhovitost	16
1.4.4 Válcovitost.....	17
2. Zařízení k hodnocení odchylek	18
2.1 Souřadnicové měřicí stroje.....	18
2.1.1 Konstrukční řešení souřadnicových měřicích strojů.....	18
2.1.2 Prvky konstrukce souřadnicových měřicích zařízení	21
2.1.3 Snímací systémy souřadnicových měřicích strojů.....	23
2.2 Použité měřicí stroje.....	24
2.2.1 ZEISS CONTURA G2.....	24
2.2.2 MarForm MMQ 400-2.....	25
2.2.3 Wenzel LH65 CNC X3M Premium.....	27
3. Nejistoty měření	28
3.1 Standardní nejistota typu A.....	28
3.1.1 Výpočet standardních nejistot typu A.....	28
3.2 Standardní nejistota typu B	29
3.2.1 Výpočet standardních nejistot typu B.....	29
3.3 Kombinovaná standardní nejistota.....	30
3.3.1 Výpočet kombinované standardní nejistoty.....	30
3.4 Rozšířená standardní nejistota.....	30
3.4.1 Výpočet rozšířené standardní nejistoty.....	30
4. Experimentální část práce.....	31
4.1 Měřená součást.....	31
4.1.1 Materiál součásti	32

4.2	Měření na stroji ZEISS CONTURA G2	33
4.2.1	Postup prvního měření	33
4.2.2	Postup druhého měření	33
4.2.3	Výsledky měření	35
4.3	Měření na stroji MAHR MMQ400	35
4.3.1	Postup měření	35
4.3.2	Výsledky měření	37
4.4	Měření na stroji Wenzel LH65 CNC X3M Premium	37
4.4.1	Postup měření	38
4.4.2	Výsledky měření	39
5.	Vyhodnocení.....	41
5.1	Grafy naměřených hodnot.....	41
5.2	Vyhodnocení samotné problematiky.....	42
5.3	Navrhované změny v postupu měření.....	45
6.	Závěr.....	46
	Seznam použité literatury	47
	Seznam příloh	49

Seznam použitého značení

Symbol	Význam	Jednotka
STR	Anglická zkratka pro označení přímosti	[μm]
RON	Anglická zkratka pro označení rovinnosti	[μm]
PLN	Anglická zkratka pro označení kruhovitosti	[μm]
CYL	Anglická zkratka pro označení válcovitosti	[μm]
SMS	Souřadnicový měřicí stroj	
CMM	Coordinate Measuring Machines	
X	Označení osy kartézské soustavy souřadnic	
Y	Označení osy kartézské soustavy souřadnic	
Z	Označení osy kartézské soustavy souřadnic	
ČSN	České označení normy	
ISO	Mezinárodní označení normy	
EN	Evropské označení normy	
CAD	Computer Aided Design	
RDS	Carianta měřicího stroje ZEISS	
u_A	Standardní nejistota typu A	[μm]
u_B	Standardní nejistota typu B	[μm]
u_c	Kombinovaná standardní nejistota	[μm]
\bar{x}	Výběrový průměr	
S	Rozptyl	
n	Počet hodnot	
k	Koeficient počtu opakování	
u_z	Nejistota maximální jmenovité odchylky	[μm]
m	Hodnota podle druhu rozdělení	
U	Rozšířená standardní nejistota	[μm]
k_u	Koeficient podle hustoty pravděpodobnosti	
P	Pravděpodobnost	[%]
a	Záporná místní úchylka	[μm]
b	Kladná místní úchylka	[μm]
ΔF_{rms}	Střední kvadratická odchylka rovinnosti	[μm]
ΔF_I	Místní úchylka rovinnosti	[μm]
A	Plocha povrchu rovinného prvku	[μm^2]
CNC	Computer Numeric Control	
3D	Trojrozměrný	

Úvod

V běžném životě se setkáváme s celým spektrem zařízení, jejichž funkčnost se opírá o správné fungování komponentů, z nichž jsou složeny. Mezi tyto zařízení patří například brzdový systém osobních automobilů, systém vstřikování paliva u motorů, nebo v našem případě mechanické ucpávky. U všech těchto komponentů, důležitých zařízení, je vyžadováno dodržení velké přesnosti, a tím pádem docílení jejich správné funkčnosti. O docílení požadované přesnosti se v moderních firmách stará nejen výrobní sektor, který součást v požadované přesnosti musí vyrobit, ale i sektor metrologie, jenž svým měřením potvrdí správnost tvaru daných součástí. Mezi firmy, které jsou závislé na přesné výrobě, patří i firma John Crane Sigma a.s., sídlící v Lutíně, která je součástí Smith Group, globální technologické skupiny. John Crane vyvíjí a produkuje mechanické ucpávky a přidružené produkty, zejména pro petrochemický, potravinářský, farmaceutický a papírenský průmysl, energetiku a těžbu nerostných surovin.

Pro přesné měření se v dnešní době, která se neobejde bez použití moderní techniky v žádném z průmyslových odvětví, používá souřadnicových měřicích strojů a konvenčních měřicích zařízení. Ty svou multifunkčností, přesností a snadnou obsluhou, ulehčují práci na metrologických dílnách snad v každém podniku, jehož výroba se opírá o dodržení přesné výroby produktů, které musí splňovat přísné nároky na ony geometrické tolerance. Z tohoto důvodu je důležité, aby provedená měření byla správná. Pro docílení správnosti výsledků je důležité nejen zvolit správný měřicí stroj, použít správné měřicí pomůcky a bezchybně nastavit měření, ale hlavně vědět, jakou vhodnou metodikou měřit. Tato bakalářská práce se právě onou správnou metodikou měření zabývá. Cílem práce je návrh vhodného měřicího postupu odchylky rovinnosti funkční plochy mechanické ucpávky, pro již zmiňovanou firmu John Crane Sigma a.s. a podrobným rozebráním problematiky rovinnosti jako takové. Přiblížením teoretických poznatků v úvodní části práce spojené s experimenty v části praktické, bylo docíleno vyhodnocení dané problematiky a navržení odpovídajících změn v měřicích postupech.

1. Geometrické tolerance

Geometrické tolerance a jejich předepisování bylo z historického hlediska vyvoláno zvyšujícími se požadavky na přesnost výroby. Úchylky tvaru, směru, polohy nebo házení profilů a skutečných ploch nepříznivě ovlivňují jednotlivé funkce součástí.

Geometricky přesný tvar funkčních ploch má spolu s přesností rozměrů a strukturou povrchu zásadní vliv na správnou funkčnost součásti.

1.1 Vysvětlení pojmů

- Úchylka – potřebná k popsání geometrie skutečných tvarů (např. úchylka válcovitosti) nebo vztahů mezi jednotlivými prvky (např. úchylka rovnoběžnosti).

- Tolerance – Je obecně největší dovolená (tzv. mezní) hodnota uvažovaných úchylek.

- Toleranční pole – Je oblast vymezená jednou, nebo dvěma geometricky ideálními přímkami, nebo rovinami, které jsou charakterizovány délkovými rozměry nazývanými tolerance.

- Geometrické tolerance – Jsou definovány jako přípustná míra odchylky skutečných tvarů a skutečné polohy strojní součásti od jejich teoretických tvarů a poloh. Toto odchýlení od ideálního tvaru je předepsáno v normě ČSN EN ISO 1101 [12].

1.2 Rozdělení úchylek vůči základně


Geometrické úchylky se rozdělují podle jejich jednotlivých poloh vůči základně. Rozdělení udává zmiňovaná norma a je následující:

- úchylky tvaru,
- úchylky směru,
- úchylky polohy,
- úchylky házení.[12]

1.3 Grafické značení geometrických tolerancí

Geometrické tolerance se popisují pomocí definovaných značek, viz.(Tab. 1.1), které můžeme nalézt ve zmiňované normě ČSN EN ISO 1101.

Tab. 1.1 - Grafické značky[12]

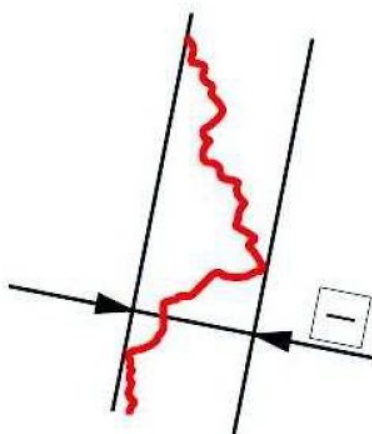
Geometrické tolerance		značka
Tvaru	Přímosti	—
	Rovinnosti	
	Kruhovitosti	
	Válcovitosti	
	Tvaru čáry	
	Tvaru plochy	
Směru	Rovnoběžnosti	//
	Kolmosti	⊥
	Sklonu	∠
Polohy	Umístění	⊕
	Soustřednosti a souososti	⊙
	Souměrnosti	≡
Házení	Kruhového	
	Celkového	

1.4 Geometrické tolerance tvaru

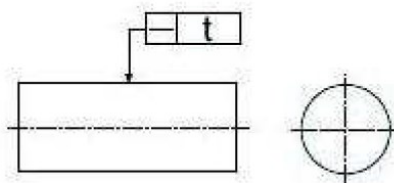
Odchylka tvaru je hodnota odchylky skutečného tvaru obrobku od jeho jmenovitého navrhovaného tvaru, udávaného na výkrese, resp. Je definovaná v normě, jako největší dovolená vzdálenost bodů skutečné plochy od plochy obalové. [4]

1.4.1 Přímost

Patří mezi geometrické tolerance tvaru. Toleranční zóna je omezena dvěma rovnoběžnými přímkami ve vyznačeném směru, vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance přímosti (Obr. 1.1). Zároveň každá povrchová linie tolerované součásti musí ležet mezi těmito rovnoběžnými přímkami. Přímost značíme zmiňovaným symbolem a hodnotou přímosti uvádíme v tolerančním rámečku, která se uvádí místo písmene t (Obr. 1.2). Používá se také anglická zkratka STR, vycházející z normy ISO 12780.



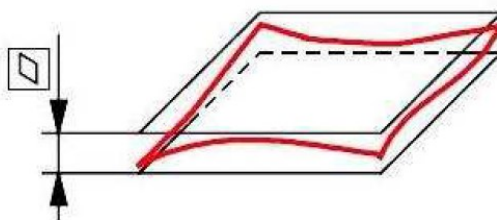
Obr. 1. 1 - Toleranční zóna přímosti [1]



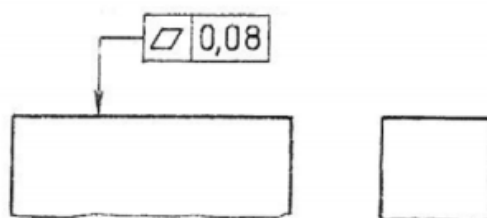
Obr. 1. 2 – Značení přímosti [1]

1.4.2 Rovinnost

Patří mezi geometrické vlastnosti plochy a mezi geometrické tolerance tvaru. Toleranční zóna je omezena dvěma rovnoběžnými rovinami vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance rovinnosti (Obr. 1.3). Rovinnost můžeme vyjádřit, jako vzdálenost dvou na sebe rovnoběžných, obalových rovin, které vedeme nejvyšším a nejnižším bodem profilu povrchu. Jejich vzdáleností se pak označovává jako hodnota rovinnosti udávaná v mikrometrech [μm] a označuje se uvedeným symbolem a hodnotou rovinnosti uvádíme v tolerančním rámečku (Obr. 1.4). Používá se také anglická zkratka RON, vycházející z normy ISO 12781 a ČSN EN ISO 17 781-1.



Obr. 1. 3 - Toleranční zóna rovinnosti [1]



Obr. 1. 4 - Značení rovinnosti [2]

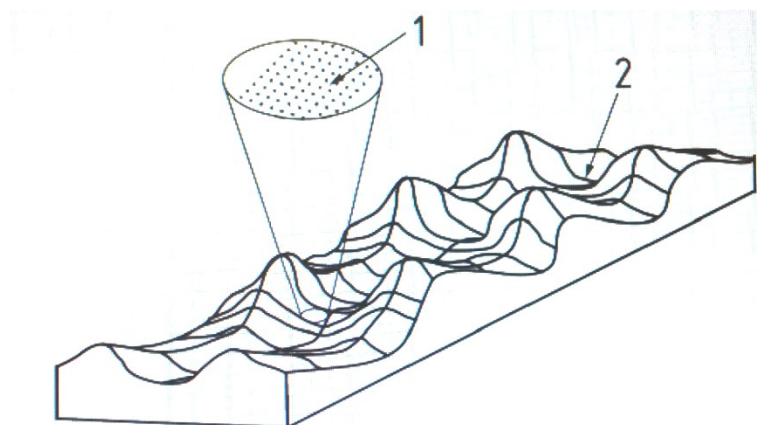
1.4.2.1 Termíny a definice

V následující části budou vyjasněny základní termíny a definice, vztahující se k rovinnosti podle platné normy ČSN EN ISO 12 781-1 geometrické specifikace produktu (GPS) – rovinnosti, část 1. [17]

Jmenovitá rovina je matematicky stanovená rovina specifikovaná konstrukcí.

Skutečný povrch je soubor prvků, které fyzicky oddělují úplný obrobek od okolního média. Viz.(Obr. 1.5).

Extrahovaný povrch je číselná reprezentace skutečného povrchu. Viz.(Obr. 1.5).

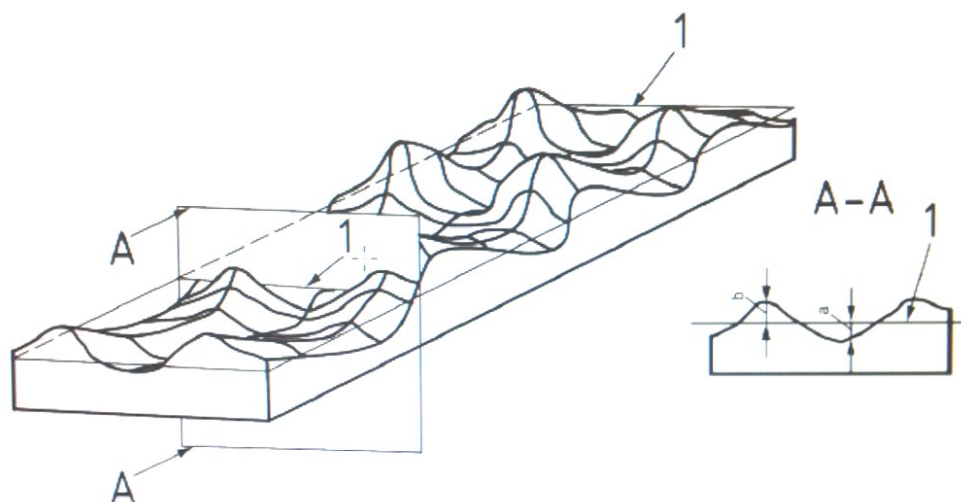


Obr. 1. 5 - Extrahovaný povrch [17]

(1- extrahovaný povrch, 2- skutečný povrch).

Rovinný povrch je extrahovaný povrch, typ rovina, úmyslně modifikovaný filtrem. Na tomto povrchu mohou být aplikovány parametry části normy ISO 12781.

Místní úchylka rovinnosti je úchylka bodu na rovinném povrchu od referenční roviny. Úchylka je kolmá k referenční rovině a je záporná, pokud bod leží ve směru od referenční roviny do materiálu. Viz.(Obr. 1.6).



Obr. 1. 6 - Místní úchylka tvaru rovinnosti [17]

(1- jakákoliv referenční rovina, a- záporná místní úchylka, b- kladná místní úchylka).

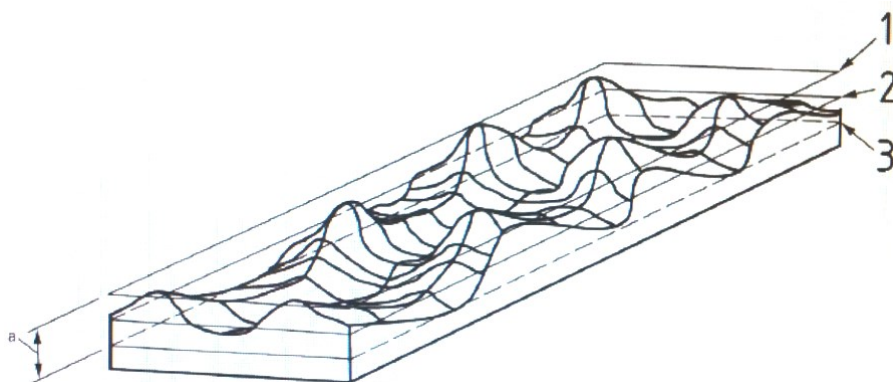
Referenční rovina je přiřazená rovina přizpůsobená rovinnému povrchu v souladu se specifikovanými konvencemi, ke kterému jsou vztaženy úchylky rovinnosti a parametry rovinnosti.

Referenční roviny minimální zóny jsou dvě rovnoběžné roviny ohraničující rovinný povrch, a které jsou umístěny v nejmenší vzdálenosti.

Vnější referenční rovina minimální zóny materiálu. Viz.(Obr. 1.7).

Vnitřní referenční rovina minimální zóny materiálu. Viz.(Obr. 1.7).

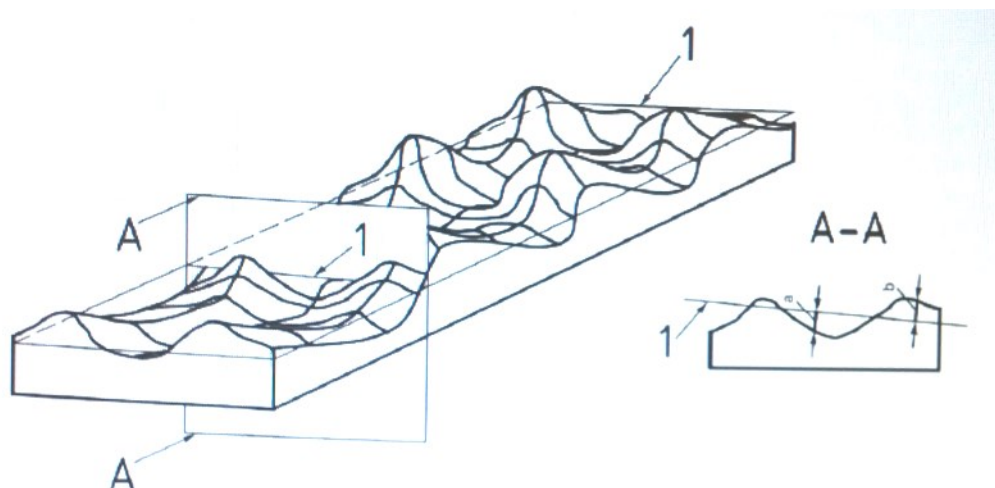
Střední referenční rovina minimální zóny materiálu je aritmetická střední rovina minimální zóny referenčních rovin. Viz.(Obr. 1.7).



Obr. 1. 7 - Referenční roviny minimální zóny [17]

(1- vnější referenční rovina minimální zóny, 2- střední referenční rovina minimální zóny, 3- vnitřní referenční rovina minimální zóny).

Referenční rovina nejmenších čtverců je rovina, pro kterou je součet čtverců místních úchylek rovinnosti minimální. Viz.(Obr. 1.8).



Obr. 1. 8 - Referenční rovina nejmenších čtverců [17]

(1- referenční rovina nejmenších čtverců, a- záporná místní úchylka, b- kladná místní úchylka).

Úchylka rovinnosti od piku k prohlubni je hodnota největší kladné místní úchylky rovinnosti přidaná k absolutní hodnotě největší záporné místní úchylky rovinnosti. Je definována pro všechny referenční roviny. Úchylka rovinnosti od piku k prohlubni je pouze parametr, který je definovaný pro minimální zónu referenčních rovin.

Úchylka rovinnosti od piku k referenci je hodnota největší kladné místní úchylky rovinnosti od referenční roviny nejmenších čtverců a je definována pouze pro referenční roviny nejmenších čtverců.

Úchylka rovinnosti od reference k prohlubni je absolutní hodnota největší záporné místní úchylky rovinnosti od referenční roviny nejmenších čtverců a je definována pouze pro referenční roviny nejmenších čtverců.

Střední kvadratická odchylka rovinnosti se značí ΔF_{rms} a je to druhá odmocnina součtů čtverců místních úchylek rovinnosti od referenční roviny nejmenších čtverců a je definována pouze pro referenční roviny nejmenších čtverců.

$$\Delta F_{rms} = \sqrt{\frac{1}{A} \int_A \Delta F_I^2 dA} \quad [17]$$

Kde

ΔF_{rms} je střední kvadratická odchylka rovinnosti;

ΔF_I je místní úchylka rovinnosti;

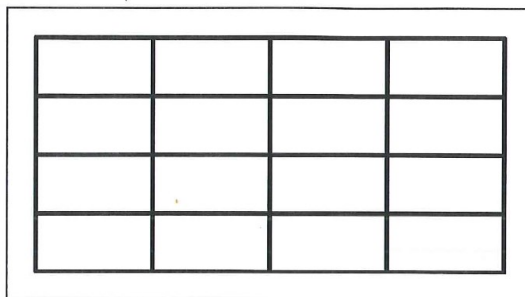
A je plocha povrchu rovinného prvku.

1.4.2.2 Strategie extrahování

Za účelem získání spolehlivého posouzení rovinného tvaru je požadováno použití odpovídající strategie extrahování, pro získání reprezentativní sady bodů na obrobku. V následující části bude objasněno několik základních metod extrahování, uvedených v normě ČSN EN ISO 12781-2 geometrické specifikace produktu (GPS) – rovinnosti, část 2. [19]

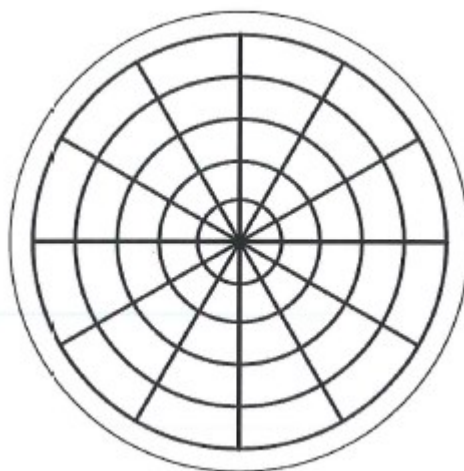
V praxi je obtížné dosáhnout kompletního pokrytí prvku rovinností, dané teoreticky nejmenší hustotou bodů. V těchto případech jsou vždy omezenější strategie extrahování, které udávají spíše specifické, než všeobecné informace týkající se posuzování rovinného tvaru. Mezi tyto strategie patří:

- **Strategie extrahování pravoúhlou mřížkou**, ta se skládá ze stejnoměrně rozložených profilů přímosti ve dvou ortogonálních směrech k vytvoření mřížky, viz.(Obr. 1.9).



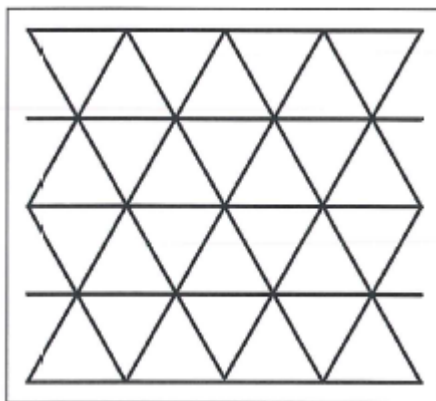
Obr. 1. 9 - Extrahování pravoúhlou mřížkou [19]

- **Strategie extrahování polární mřížkou**, ta se skládá ze stejnoměrně rozložených soustředných kruhových profilů, okolo stanoveného středu, společně se stejnoměrně rozloženými radiálními profily přímosti, vedenými tímto středem, k vytvoření polární mřížky. Viz.(Obr. 1.10).



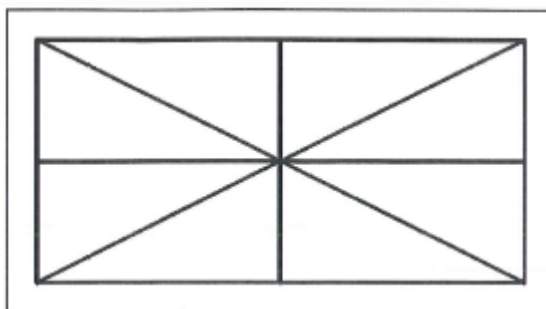
Obr. 1. 10 – Extrahování polární mřížkou [19]

- *Specifikovanou mřížkou – Strategie extrahování trojúhelníkovou mřížkou*, ta se skládá ze vzájemně stejnoměrně rozložených profilů přímosti, ve třech směrech vzájemně odkloněných o úhel 60° , k vytvoření trojúhelníkové mřížky. Viz.(Obr. 1.11).



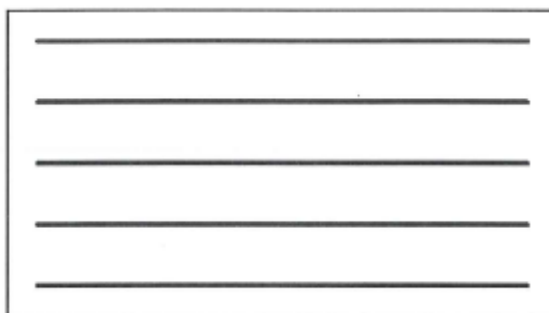
Obr. 1. 11 - Extrahování trojúhelníkovou mřížkou [19]

- *Specifikovanou mřížkou – Strategie extrahování mřížkou Union Jack*, ta se skládá ze série mřížek se třemi profily v každém směru, společně se dvěma profily přímosti přes hlavní diagonály mřížky, k vytvoření mřížky Union Jack. Viz.(Obr. 1.12).



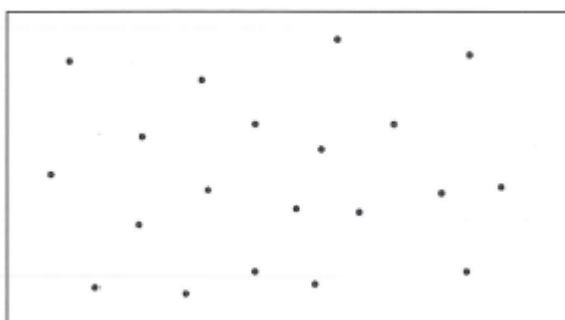
Obr. 1. 12 – Extrahování mřížkou Union Jack [19]

- **Strategie extrahování rovnoběžnými profily**, ta se skládá ze stejnoměrně rozložených profilů přímosti v jednom specifikovaném směru, k vytvoření série paralelních profilů. Viz.(Obr. 1.13).



Obr. 1. 13 – Extrahování rovnoběžnými profily [19]

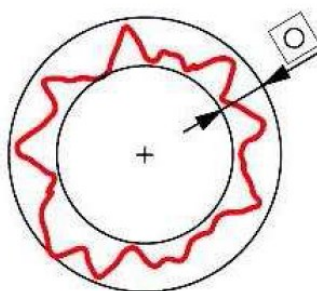
- **Strategie extrahování body**, ta se skládá z bodů náhodně rozložených, k vytvoření profilu povrchu rovinnosti. Viz.(Obr. 1.14).



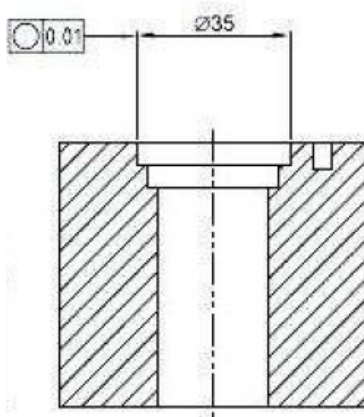
Obr. 1. 14 – Extrahování body [19]

1.4.3 Kruhovitost

Patří mezi geometrické vlastnosti plochy. Toleranční zóna omezena v dané rovině průřezu dvěma soustřednými kružnicemi vzdálenými od sebe o šířku mezikruží rovnou toleranci kruhovitosti (Obr. 1.5). Obvodové linie tolerované součásti pak musí, při libovolném radiálním řezu, ležet uvnitř obou kružnic. Kruhovitost značíme zmiňovaným symbolem a hodnotou kruhovitosti uvádíme v tolerančním rámečku (Obr. 1.16). Používá se také anglická zkratka PLN, vycházející z normy ISO 12181.



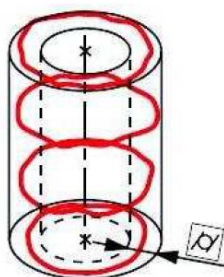
Obr. 1.15 - Toleranční zóna kruhovitosti [1]



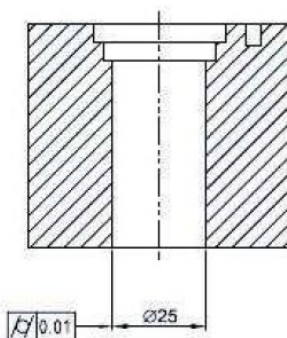
Obr. 1.16 - Značení kruhovitosti [1]

1.4.4 Válcovitost

Patří mezi geometrické vlastnosti plochy. Toleranční zóna je omezena dvěma souosými válci vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance válcovitosti (Obr. 1.17). Tolerance válcovitosti zahrnuje odchylky kruhovitosti kolmých řezů, přímosti povrchových přímek a rovnoběžnosti povrchových přímek pláště válce k ose válce. Válcovitost značíme zmiňovaným symbolem a hodnotou válcovitosti uvádíme v tolerančním rámečku (Obr. 1.18). Používá se také anglická zkratka CYL, vycházející z normy ISO 12780.



Obr. 1.17 - Toleranční zóna válcovitosti [1]



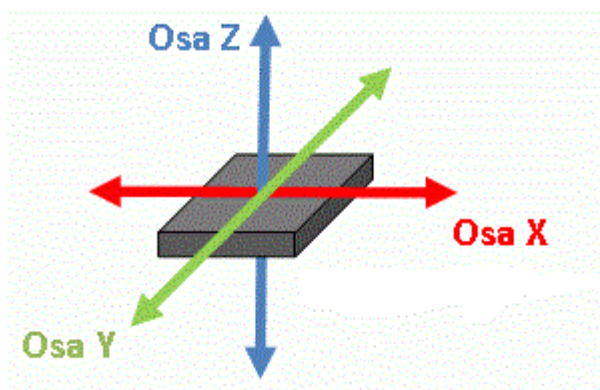
Obr. 1.18 - Značení válcovitosti [1]

2. Zařízení k hodnocení odchylek

2.1 Souřadnicové měřicí stroje

Mezi jednu z nejvýznamnějších inovací v oblasti měření ve strojírenství patří souřadnicové měřicí stroje (SMS). Anglicky se tyto stroje nazývají coordinate measuring machines (CMM). Od jejich zavedení do výroby, před více než padesáti lety, prošly stroje prudkým vývojem. Díky požadavkům, kladeným na strojírenský výrobní proces (zvyšování přesnosti výroby, zkracování výrobních časů), se zvýšila přesnost souřadnicových měřicích strojů a došlo k jejich začlenění do výrobního procesu, buďto jako samostatných strojů, nebo malých výrobních buněk.

Principem souřadnicového měření je stanovení základního bodu v prostoru, další polohu bodů měříme pomocí souřadnicových rozměrů v osách X, Y, Z. Možnost určení základního bodu v kterémkoliv místě pracovního prostoru je také velkou výhodou. Propojením souřadnicového měřicího stroje s počítačovou technikou, představuje prostředek pro účinné zvyšování a udržování jakosti ve všech druzích výroby, při obrábění strojních součástí.



Obr. 2. 1 - Osy měření

2.1.1 Konstrukční řešení souřadnicových měřicích strojů

Konstrukční řešení souřadnicových měřicích vychází z jejich využití. Vesměs všichni výrobci nám nabízí podobné řešení. Používá se pestrá škála přístrojů, od malých stolních, až po velké mostové, které se mohou používat například v automobilovém průmyslu.

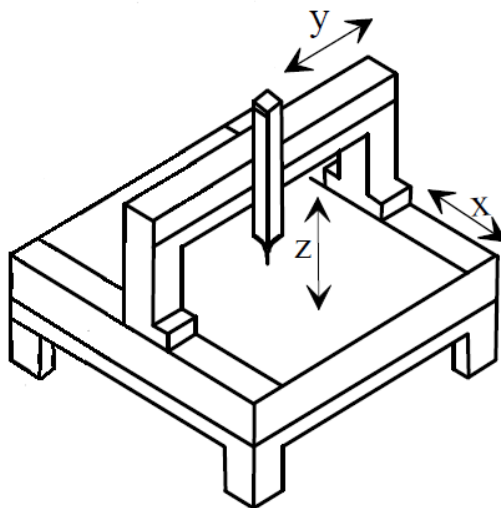
Konstrukční řešení se rozděluje na čtyři základní typy a každý z nich má své specifické využití:

- a) mostové,
- b) konzolové,
- c) portálové,
- d) sloupové, stojanové. [5]

S ohledem na hmotnost, manipulaci a velikost obrobků, jsou pak vyráběny tři typy:

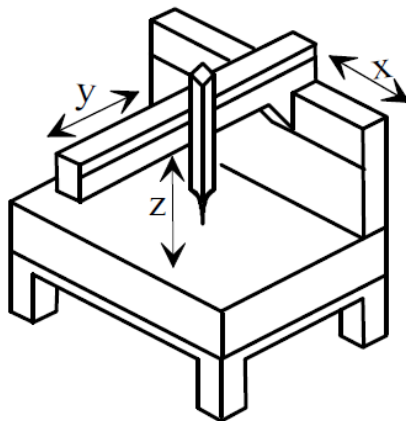
- s pohyblivým stolem,
- s pevným stolem,
- s pevnou deskou v úrovni podlahy. [5]

Mostové konstrukce se v praxi používá pro největší rozsahy měření. Tyto stroje mají dobrou, pevnou konstrukci s velkým měřicím prostorem. Trojrozměrná kapacita SMS nám umožňuje měřit součást na pěti stranách součásti, při jednom upnutí (ustavení) na měřicím stole, což je důležité například v automobilovém, nebo leteckém průmyslu.



Obr. 2. 2 Mostová konstrukce [5]

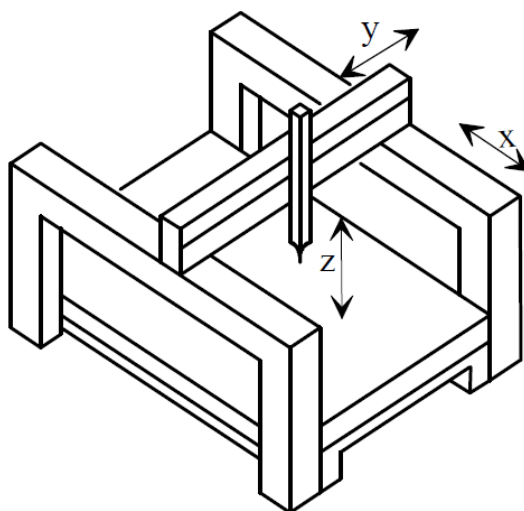
Konzolové konstrukce nedisponují až tak velkou kapacitou měřicího prostoru, ale je zde lepší přístup k měřené součásti. Nejčastěji se v praxi používají pro kontrolu středních a menších součástí. Z důvodu tuhosti je osa Y poměrně krátká, proto se hojně používá pro měření dlouhých úzkých součástí.



Obr. 2. 3 Konzolová konstrukce [5]

Portálové konstrukce se v praxi používají pro kontrolu součástí s průchozími otvory. Patří mezi nejpoužívanější. Disponuje středním až velkým rozsahem měření, velkou tuhostí, která nám zajišťuje vysokou přesnost měření. Přístup k součásti je omezený konstrukčním řešením, které se provádí ve dvou variantách:

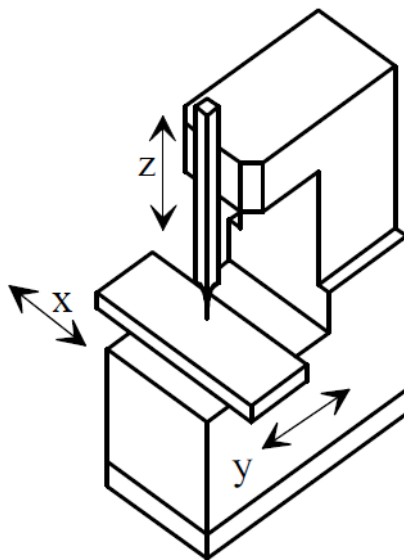
- pevný portál s pohyblivým stolem,
- pohyblivý portál.



Obr. 2. 4 Portálová konstrukce [5]

Sloupové konstrukce se v praxi používají pro malé rozsahy měření. V důsledku tuhé konstrukce, tyto typy vynikají velkou přesností měření. Z hlediska způsobu použití a požadované přesnosti je možno je dále rozdělit:

- SMS používané pro nejpreciznější měření, prováděné v laboratořích,
- SMS pro provozní využití, většinou používané pro měření skříňových součástí. Vyžadován je snadný přístup k součásti. Přesnost měření je zde stále vyšší,
- SMS používané pro proměrování montážních celků. Nejčastěji se zde umísťují součásti v úrovni podlahy.



Obr. 2. 5 Sloupová konstrukce [5]

2.1.2 Prvky konstrukce souřadnicových měřících zařízení

Mezi konstrukční prvky SMS patří:

- rám,
- pracovní deska,
- stojan,
- portál,

- most,
- pinola,
- vedení. [5]

Rám mívá nejčastěji svařovanou konstrukci, s vysokou tuhostí, z důvodu nosnosti ostatních částí. U mostových typů konstrukcí se rám nahrazuje deskou v podlaze.

Pracovní deska se nejčastěji vyrábí z granitu, alternativou může být litina. Slouží k ustavení, nebo upnutí součástí. Pracovní deska (stůl) je ustavena ve čtyřech základních podpěrách. Horní plocha (pracovní plocha) je broušena a jsou v ní otvory se závity. Pomocí těchto děr se závity, šroubů a upínek upevníme měřený kus k pracovní ploše.

Mezi hlavní požadavky, kladené na stůl patří:

- vysoká přesnost, rovinnost a kolmost,
- vysoká živostnost stolu,
- minimální teplotní roztažnost a objemová stálost,
- stůl nesmí být magnetický,
- možnost opravy. [5]

Sloupy, portály a mostové konstrukce většinou konstruované jako svařence z profilů, uvedených v normě ČSN 42 6936. Hlavním požadavkem je dostatečná tuhost a tvarová a rozměrová stálost. Portál se musí konstruovat tak, aby při pohybu pinoly v příčném směru docházelo k co nejmenšímu průhybu.

Pinola je tyč kruhového nebo čtvercového průřezu, která může být buď vertikální, nebo horizontální. Nevýhodou horizontální polohy je zatěžování na ohyb, v důsledku vlastní tíhy pinoly.

Vedení a konstrukce pohyblivých částí, musí být provedena tak, aby se po sobě části pohybovali lehce, s maximální přesností a bez trhavých pohybů. Jednotlivé části se ukládají tak, aby měli mezi sebou co nejmenší tření, minimální opotřebení a maximální

tuhost. Z tohoto důvodu se již moc nepoužívá vedení kluzné, ale využívá se vedení tzv. Aerostatického, kde ke třetí dochází pomocí plynu.

2.1.3 Snímací systémy souřadnicových měřících strojů

Cílem snímacích systémů je detekovat povrch měřeného obrobku. Způsobem snímání jednotlivých bodů ovlivňujeme jednak přesnost měření, ale i možnost automatizace měřicího cyklu.

Snímací systémy dělíme, podle způsobu snímání, do dvou základních skupin:

- systémy bezdotykové,
- systémy dotykové (kontaktní).

Bezdotykové systémy se u klasických souřadnicových měřících strojů používají jen zřídka. Pro klasické stroje bylo vyvinuto snímání v podobně laserových hlav, řádkové kamery, nebo speciálních pneumatických snímačů.

Dotykové systémy u starších souřadnicových měřících strojů mají pevné dotyky. Používají se například kulové dotyky, kuželové dotyky, talířové dotyky atp. Tyto stroje fungují tak, že řídicí počítač na povel obsluhy, v momentu dotyku, zapíše všechny polohy dotyku, které následně vyhodnotí.

Mezi nejrozšířenější dotykové systémy patří tzv. elektro-kontaktní snímací systémy, které můžeme dále dělit na dvě základní skupiny:

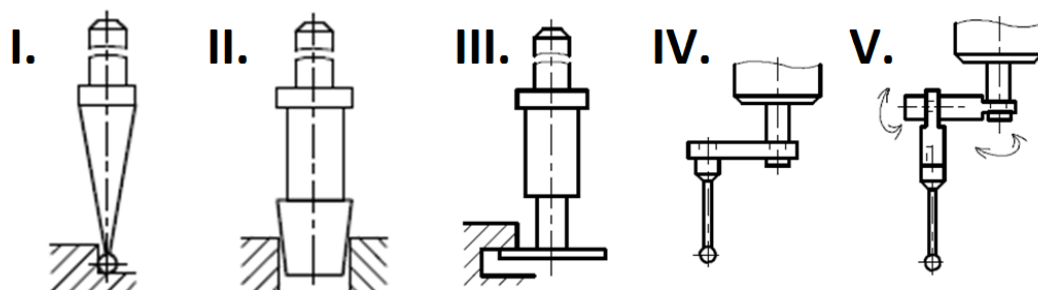
- snímací systémy spínacího typu,
- snímací systémy měřicího typu.

Nejjednodušší a nejčastěji používaný typ doteku jsou **přímé dotoky**, vhodné pro většinu snímacích aplikací. Jemné dotyky s malými kuličkami se dodávají s přímými, nebo kónicky se zužujícími dříky. Dotoky s kónickými dříky nám nabízejí vyšší tuhost a jejich oblíbenost je především u dobře přístupných prvků při měření.

Materiálem kuličky doteků může být rubínu, nitrid křemíku, oxid zirkoničitý, keramika, nebo karbid wolframu.

Držáky a dríky se vyrábějí z nejrůznějších materiálů a klade se u nich požadavek na co největší tuhost. Mezi materiály dríku patří například titan, karbid wolframu, nerezová ocel, keramika a uhlíková vlákna.

Na následujícím obrázku (Obr. 2.6) je uvedeno několik základních typů měřících doteků.



Obr. 2. 6 Měřící doteky [5]

(I- Kulový, II- Kuželový, III- Talířový, IV a V- Kulové nastavitelné.)

2.2 Použité měřící stroje

2.2.1 ZEISS CONTURA G2

Je to model souřadnicového měřicího stroje od firmy Carl Zeiss, využívající CAD snímací systém Calypso, který umožňuje rychlé vytváření měřících programů. Vyrábí se ve třech variantách a to Direkt, RDS a Aktiv.

Direkt je základní prostředek skenovací technologie výrobce, určený pro kontrolu jednotlivých operací výrobního cyklu. Snímači zde lze měřit geometrii, tvar i polohu. Na stroji lze měřit kovové i plastové součásti a to uživateli často nahrazuje speciální zařízení pro měření tvaru.

RDS splňuje požadavky na komplexní měření tvarově složitých součástí, jenž vyžadují menší snímací dotek. Stroj je vybaven držáky RDS, které lze nastavit do nespočtu poloh, zároveň snímací sondou, do které lze upínat snímací raménka.

Aktiv je vhodná pro měření vzdálenějších povrchů, např. v otvorech. Disponuje výkonnými snímači, které splňují požadavky na vysokou produktivitu kontroly. Díky velké rychlosti a hustotě snímaných dat zajišťují snímače velké aplikační možnosti.

Měřicí rozsah u CONTURA G2 je dostupný v několika variantách, v rozmezí, které je uvedeno v následující tabulce (Tab. 2.1). Pro větší součásti je možno použít nastavení U-STONE, které dovede zvýšit rozsah v ose Z až o dalších 200mm.

Tab. 2. 1 - Rozsah měření CONTURA G2 [10]

Rozsahy	Jednotlivé Osy [mm]		
	X	Y	Z
od	700	700	600
do	1000	2100	600



Obr. 2. 7 - ZEISS CONTURA G2 [10]

2.2.2 MarForm MMQ 400-2

Přístroj MarForm MMQ 400-2 je měřicí systém, který umožňuje měření obrobků a jejich geometrických odchylek tvaru, polohy, textury povrchu a kontury povrchu (dle zmiňované normy ČSN EN ISO 1101), při jediném upnutí součásti. Základem pro měření jsou zde velice přesné osy ve směru Z a X. Zařízení je k dispozici ve verzi jako částečně

automatické měřicí pracoviště s manuálním středícím a naklápěcím stolem, nebo jako plně automatické měřicí pracoviště, spojené s motorickým středícím stolem. Stroj se dodává ve třech variantách, v rozmezí měření os, které jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 2.2).

Tab. 2. 2 - Jednotlivé rozsahy MMQ 400-2 [9]

MMQ 400-2	Osy	
	Z	X
Varianta s rozsahem 1	350	180
Varianta s rozsahem 2	500	280
Varianta s rozsahem 3	900	280



Obr. 2. 8 - MarForm MMQ 400-2 [9]

2.2.3 Wenzel LH65 CNC X3M Premium

Tento 3D měřicí CNC stroj od firmy Wenzel se používá pro měření prostorově složitých technických dílů a podporu při stanovení způsobilosti procesů, strojů a forem. Rozsahy měření, proveditelných na stroji, jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 2.3). [19]

Tab. 2. 3 – Rozsah měření LH65 X3M

LH65 X3M	Osy		
	X	Y	Z
Rozsah měření	650	1000	500



Obr. 2. 9 – Wenzel LH65 X3M [19]

3. Nejistoty měření

Nejistota měření je definována jako rozsah hodnot, které byly naměřeny okolo výsledku měření. Při stanovení nejistot měření na souřadnicových měřicích strojích musíme vždy zvážit faktory, jako je lidský faktor, podmínky prostředí, v němž provádíme měření, znalost použitých měřicích metod, vybavení atp.

Směrodatná odchylka udávané veličiny nám určuje míru nejistoty. Tyto nejistoty vyjadřujeme jako **standardní nejistotu**, kterou značíme písmenem u . Představuje vlastně rozsah hodnot, okolo hodnoty naměřené. Standardní nejistoty dále můžeme dělit na **nejistoty typu A** a **nejistoty typu B**, **kombinovanou standardní nejistotu** a **rozšířenou standardní nejistotu**. Tyto nejistoty můžeme uvádět buď samostatně, nebo za výsledkem naměřené hodnoty společně se znaménkem \pm a tvoří nedílnou součást výsledného protokolu o měření, nebo jakéhokoliv zpracování výsledků o měření. Která nejistota bude použita, záleží na osobě, která výpočty provádí. Běžně se uvádí s přesností na dvě platná míst a zaokrouhluje se nahoru. [11]

3.1 Standardní nejistota typu A

Tyto nejistoty se značí jako u_A a jsou způsobeny náhodnými chybami, jejichž původ se považuje za neznámý. Stanovit je lze z opakovaných měření dané veličiny, při dodržení stejných podmínek. Čím více provedeme měření, tím se budou tyto nejistoty zmenšovat. [11]

3.1.1 Výpočet standardních nejistot typu A

Odhad údaje měřené veličiny pomocí výběrového průměru \bar{x} z n naměřených hodnot:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad [11]$$

Odhad rozptylu naměřených hodnot označujeme jako výběrový rozptyl a můžeme jej určit ze vztahu:

$$S_{(x)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad [11]$$

Směrodatná odchylka výběrových průměrů je zvolena za standardní nejistotu typu A:

$$u_A = s_{(\bar{x})} = \frac{s_{(x)}}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n * (n-1)}} \quad [11]$$

V případě, že počet měření je menší než deset a nemůžeme zvolit kvalifikovaný odhad na základě zkušenosti, určíme tzv. korigovanou nejistotu u_{Ak} z následujícího vztahu:

$$u_{Ak} = k * u_A$$

kde k je koeficient, který je závislý na počtu opakovaných měření a bere se z následující tabulky (Tab. 4.1), ve které je n počet měření a k náš požadovaný koeficient.

Tab. 3. 1 - Koeficient k podle počtu opakování

n	9	8	7	6	5	4	3	2
k	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,7	2,3	7

3.2 Standardní nejistota typu B

Tyto nejistoty se značí jako u_B a jsou způsobeny příčinami vzniku, které jsou známé, nebo odhadnutelné. Identifikování těchto příčin a základní hodnocení provádí experimentátor. Určení těchto nejistot není jednoduché, např. u složitých měřicích zařízení, nebo při zvýšených požadavcích na přesnost, musíme provádět podrobný rozbor chyb a to vyžaduje značné letité zkušenosti. Tyto nejistoty pochází z různých zdrojů a jejich výsledná hodnota je získávána sumarizací. Při této nejistotě nezáleží na počtu měření.

Tyto nejistoty se dále dělí na normální, trojúhelníkové, lichoběžníkové, rovnoměrné a bimodální. Každý druh nejistoty vychází ze specifického grafu a používá se ve výpočtech nejistot. [11]

3.2.1 Výpočet standardních nejistot typu B

Při výpočtu standardní nejistoty typu B musíme určit zdroje nejistot, těmi můžou být např. nedokonalé měřicí přístroje, špatné použité měřicí metody, způsoby vyhodnocení, nebo třeba malé zkušenosti pracovníka. Určíme maximální rozsah odchylek tak, aby jejich překročení bylo málo pravděpodobné. Dále určíme nejistotu u_z z maximální jmenovité odchylky a hodnoty m , která se určí podle druhu rozdělení (např. $m=2$ pro normální, $m=1,73$ pro rovnoběžné apod.). Dále určíme standardní nejistotu u_z , například převzetím technické dokumentace a přepočítají se na složky nejistoty měřené veličiny u_{zj} .

Samotná standardní nejistota typu B se potom vypočítá z následujícího vztahu:

$$u_B = \sqrt{\sum_{j=1}^m u_{zj}^2} \quad [11]$$

3.3 Kombinovaná standardní nejistota

Tyto nejistoty se značí jako u_c a vznikají sumací předešlých dvou nejistot typu A a B. Pokud použijeme tuto nejistotu, není třeba rozlišovat mezi A a B a je velmi pravděpodobné, že se v udávaném intervalu bude nacházet skutečná hodnota měření. I proto se této nejistotě dává v praxi přednost. [11]

3.3.1 Výpočet kombinované standardní nejistoty

Tuto nejistotu můžeme jednoduše určit z následujícího vztahu:

$$u_c = \sqrt{(u_A^2 + u_B^2)} \quad [11]$$

3.4 Rozšířená standardní nejistota

Tyto nejistoty značíme pouze písmenem U a používáme je v případě, když je třeba zjistit ještě větší pravděpodobnost správného výsledku měření. Určíme ji tak, že kombinovanou standardní nejistotu u_c vynásobíme součinitelem k_u .

3.4.1 Výpočet rozšířené standardní nejistoty

Tuto nejistotu můžeme určit podle následujícího vzorce pomocí jednoduchého vynásobení:

$$U = k_u \cdot u_c \quad [11]$$

Kde hodnoty koeficientu k_u určíme podle hustoty pravděpodobnosti:

Pro pravděpodobnost $P = 68\%$ je koeficient $k_u = 1$,

pro pravděpodobnost $P = 95\%$ je koeficient $k_u = 2$,

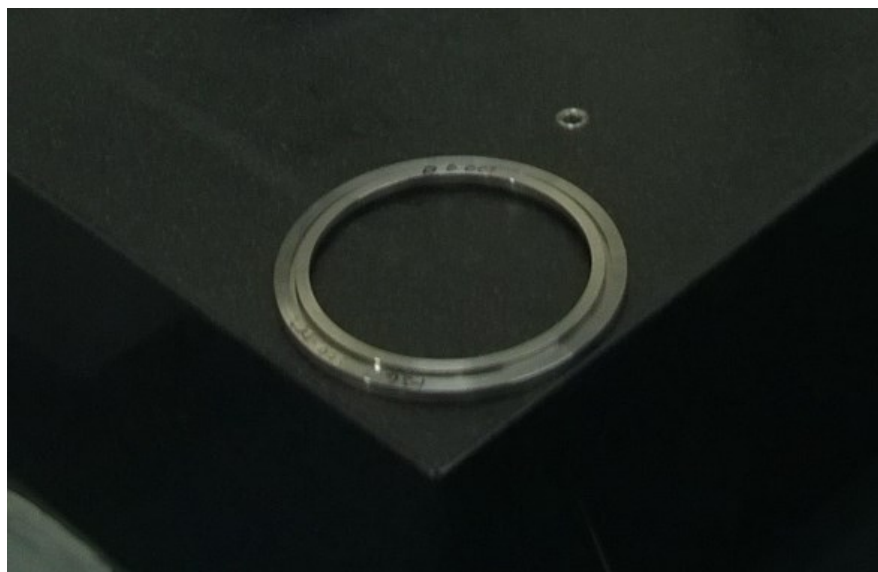
pro pravděpodobnost $P = 99,73\%$ je koeficient $k_u = 3$. [11]

4. Experimentální část práce

Cílem experimentální části je stanovit vhodný měřicí postup. Tato část bude zaměřena na měření na střeších CMM strojích, ze kterých získáme naměřené hodnoty pro porovnání a vyhodnocení problematiky. Měřena bude funkční plocha součásti. Vyhodnocena bude na odchylku rovinnosti tvaru.

4.1 Měřená součást

Měřenou součástí je součást (Obr. 4.0), z firmy John Crane Sigma a.s. Tato součást má funkci přítlačné desky s těsnící funkcí v mechanické ucpávce, která musí zabránit unikání čerpaného média do okolí. Ucpávka sestává ze dvou částí a to ze sedla a čela ucpávky. Tyto dvě součásti musí vykazovat co nejvyššího stupně rovinnosti a tím pádem dodržet co nejmenší propustnost. Výkres součásti je přiložen a uveden v seznamu příloh.



Obr. 4.0 – Měřená součást

4.1.1 Materiál součásti

Součást je z materiálu, který nese označení 1.4006, ČNS 17021, nebo podle americké normy, kterou používá firma US 410 SS.

Jedná se o základní martenzitickou korozivzdornou ocel, která obsahuje vysoké procento chromu. Nejběžnější použití nachází ocel obecně tam, kde je vyžadována mírná odolnost proti korozi, vysoká pevnost a tepelná odolnost. Když uvedeme některé příklady použití materiálu, tak jsou to zejména energetická zařízení, turbokompresory, parní turbíny, chirurgické nástroje, obecněji potom tam, kde jsou kapaliny, nebo plyny ne příliš agresivnější než voda. Ve stavu zušlechtění, s lesklým povrchem materiál odolává korozi, naředěné kyselině dusičné a organickým kyselinám. Pro zvýšení odolnosti proti korozi může být materiál leštěn. Materiál disponuje dobrou obrobiteľností a dobrou tváriteľností za studena. [18]

Tab. 4. 1 - Chemické složení [18]

	Uhlík	Mangan	Křemík	Fosfor	Síra	Chrom	Nikl
Minimální obsah prvku [%]	-	-	-	-	-	11,5	0,75
Maximální obsah prvku [%]	0,15	1	1	0,04	0,03	13,5	0,75

4.2 Měření na stroji ZEISS CONTURA G2

Měření součásti probíhalo ve firmě John Crane Sigma a.s, pod dohledem zaměstnanců firmy. Byly provedeny dvě měření, za stejných podmínek. Pro obě měření byla zvolena kulová měřicí sonda o průměru kuličky 2 mm. Tolerance rovinnosti byla nastavena na 4 μm , podle výkresové dokumentace. Teplota v místnosti byla 21,6 °C, teplota čelistí a teplota součásti, zjištěná dotykovým měřicím přístrojem, byla 21,3 °C.

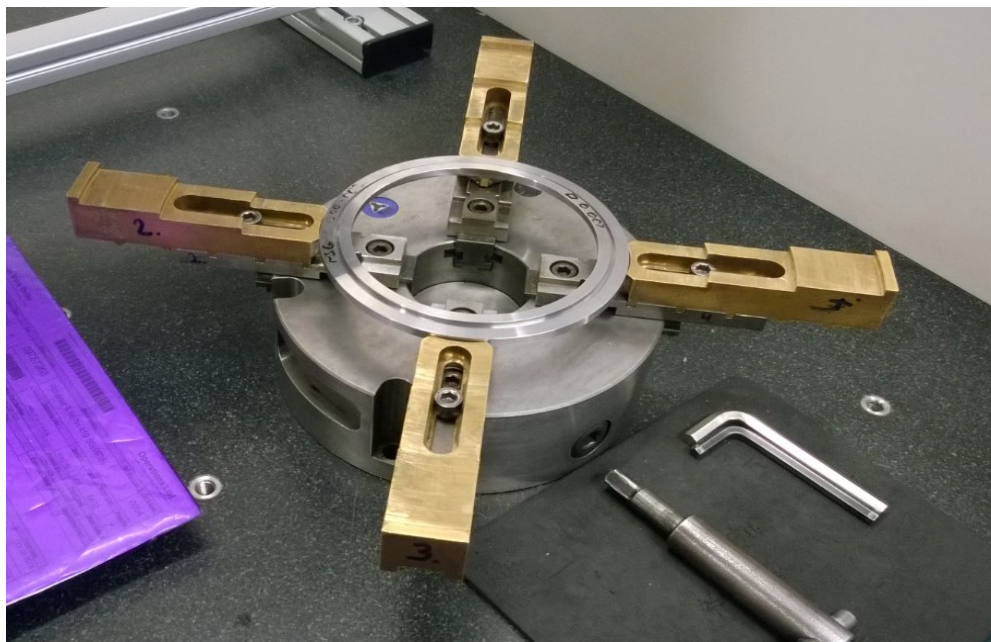
4.2.1 Postup prvního měření

- Upnutí součásti do sklíčidel, viz.(Obr. 4.1),
- vytvoření programu pro měření
- vystředění polohy součásti přejetím po vnitřním průměru součásti 151,5 mm, viz.(Obr. 4.2), bod B na obrázku,
- nastavení nulového bodu dotykem plochy, viz.(Obr. 4.2), bod A na obrázku,
- nastavení průměru pro měření 164,00 mm, úhlového rozsahu 370,00 ° a kroku pro měření 0,1,
- samotné měření rovinnosti, přejetím po nastavené kružnici o průměru 164.00 mm, stanovenou rychlostí se stanoveným krokem.
- Pro toto měření byla zapnuta tepelná kompenzace

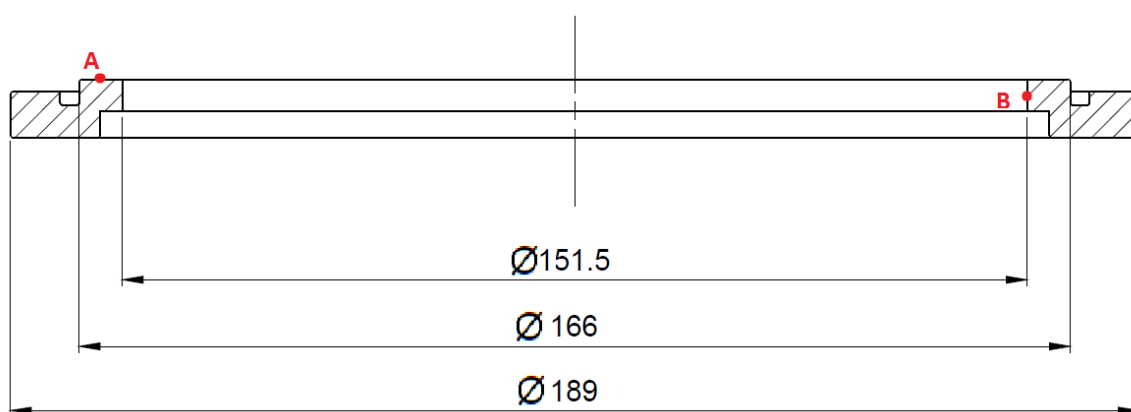
4.2.2 Postup druhého měření

- Součást již byla upnuta,
- vytvoření programu pro měření
- vystředění polohy součásti, přejetím po vnitřním průměru součásti 151,5 mm, viz.(Obr. 4.2), bod B na obrázku,
- nastavení nulového bodu dotykem plochy, viz.(Obr. 4.2), bod A na obrázku,
- nastavení průměru pro měření 153,5 mm, úhlového rozsahu 370,00 ° a kroku pro měření 0,1, viz.(Obr. 4.4),

- samotné měření rovinnosti, přejetím po nastavené kružnici o průměru 153,5 mm, stanovenou rychlostí se stanoveným krokem.
- Pro toto měření byla vypnuta tepelná kompenzace



Obr. 4.1 - Upnutí součásti 1



Obr. 4. 2 – Body pro ustavení 1

4.2.3 Výsledky měření

Měření bylo provedeno spojitou skenovací metodou na dvou kružnicích odlišných průměrů a to 161,00 mm a 153,5 mm.

Výsledné hodnoty odchylky kruhovitosti nám vyšly následující:

- první měření **11,1 μm ,**
- druhé měření **10,4 μm .**

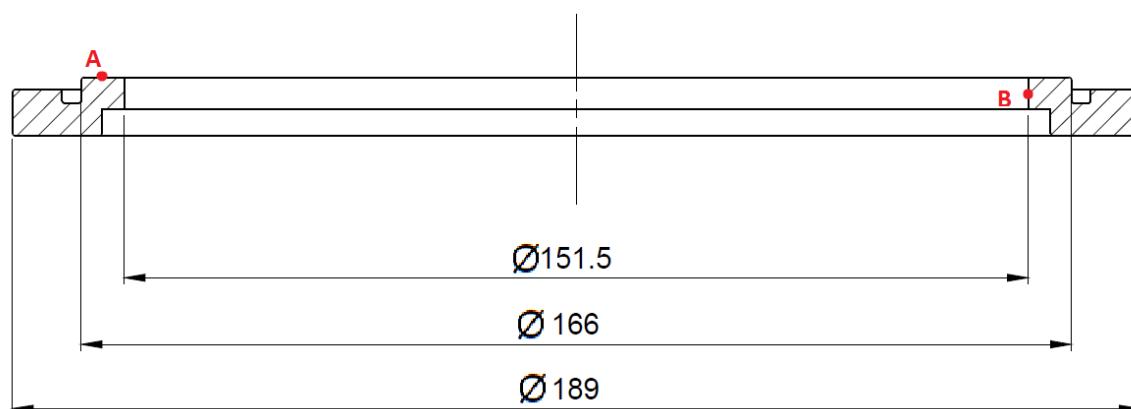
4.3 Měření na stroji MAHR MMQ400

Měření součásti probíhalo ve firmě John Crane Sigma a.s, pod dohledem zaměstnanců firmy. Byly provedeny tři měření, za stejných podmínek. Pro všechna měření byla zvolena dlouhá rovná kulová měřicí sonda o průměru kuličky 1 mm. Tolerance rovinnosti byla nastavena na 4 μ , podle výkresové dokumentace. Teplota v místnosti byla 24,7 C°, teplota materiálu, zjištěná dotykovým měřicím přístrojem, byla 24,5 C°.

4.3.1 Postup měření

- Položení součásti na měřicí stůl,
- ustavení součásti do ideální roviny pomocí automatického stolu, viz.(Obr. 4.4),
- vystředění součásti přejetím po vnitřním průměru 151,5 mm, viz.(Obr. 4.3) bod B na obrázku a (Obr. 4.5),
- nastavení nulového bodu dotykem plochy viz.(Obr. 4.3), bod A na obrázku,
- samotné měření rovinnosti:
 - první měření na průměru 158,75 mm,
 - druhé měření na průměru 162,75 mm,
 - třetí měření na průměru 154,75 mm,

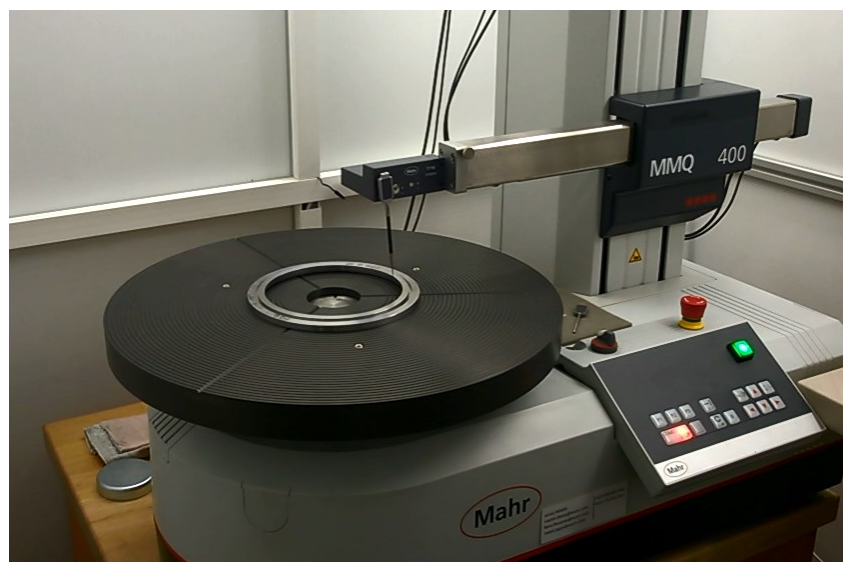
pro tyto tři měření jsme zvolili tři různé průměry, před každým měření proběhly znovu předešlé kroky, jako ustavení do ideální roviny a vystředění pomocí vnitřního průměru součásti.



Obr. 4. 3 – Body pro ustavení 2



Obr. 4. 4 - Ustavení součásti



Obr. 4. 5 - Vystředění součásti

4.3.2 Výsledky měření

Měření bylo provedeno spojitou skenovací metodou na třech kružnicích odlišných průměrů a to 158,75 mm, 162,75 mm a 154,75 mm.

Výsledné hodnoty odchylky kruhovitosti nám vyšly následující:

- první měření **8,36 μm** na střední kružnici,
- druhé měření **8,40 μm** na vnější kružnici,
- třetí měření **8,82 μm** na vnitřní kružnici.

4.4 Měření na stroji Wenzel LH65 CNC X3M Premium

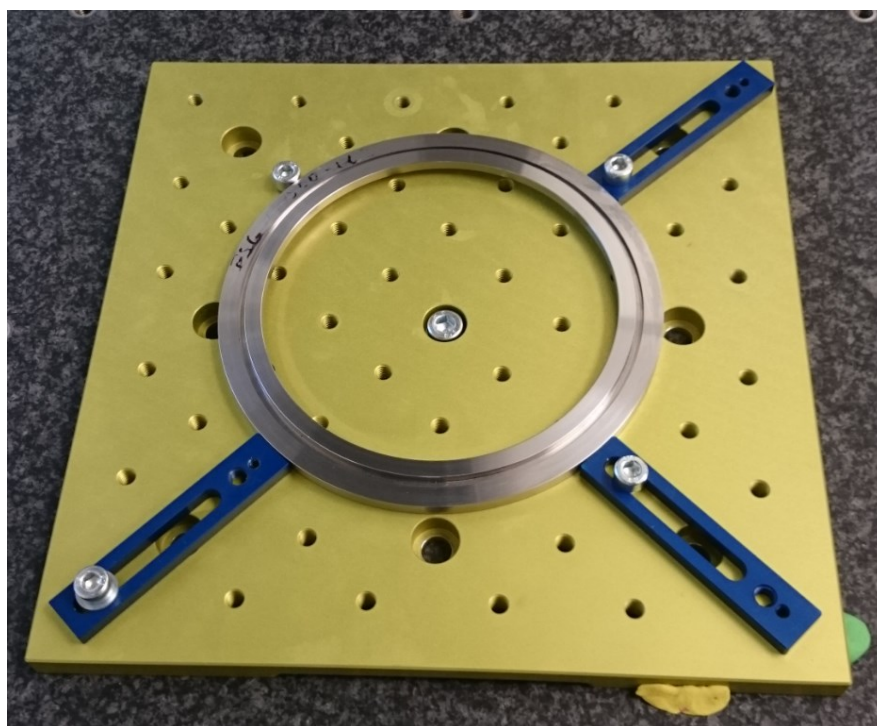
Měření součásti probíhalo v měřicí laboratoři VŠB – Fakulty strojní, Katedry obrábění, montáže a strojírenské metrologie, pod dohledem vedoucí bakalářské práce. Pro názornost a přesnost měření byly provedeny celkem deset měření, za stejných podmínek. Pro všechna měření byl zvolen dotyk s rubínovou kuličkou o průměru 4 mm a tuhým dříkem. Tolerance rovinnosti byla nastavena na 10 μm . Teplota v místnosti byla 21 °C, teplota podstavce byla změřena dotykovým měřicím přístrojem na 21,1°C a granitová deska měla 21,2 °C.

4.4.1 Postup měření

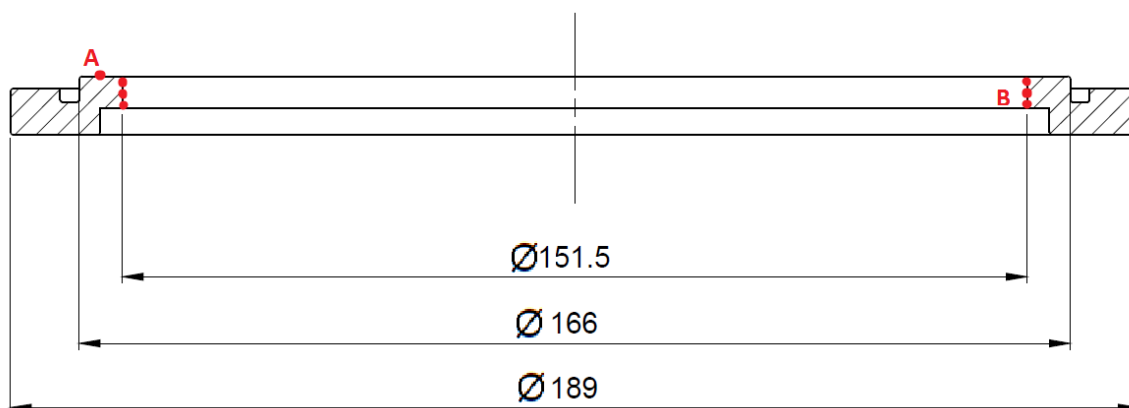
- Upnutí součásti do skličidla, (Obr. 4.6),
- očištění měřeného povrchu součásti lihem a hadříku, následné vysušení suchým hadrem,
- vytvoření programu pro měření,
- vycentrování součásti pomocí 12 dotyků v různých výškách a na různých místech, na vnitřním průměru součásti 151,5 mm, (Obr. 4.7), body B na obrázku,
- nastavení souřadného systému pomocí dotyku měřené plochy, (Obr. 4.7), bod A na obrázku,
- samotné měření, které bylo spuštěno v CNC režimu:
měření bylo provedeno různými způsoby, pro ověření správnosti výsledků.

První měření, označené PLN4, bylo provedeno na třech různých kružnicích o průměrech 158,75 mm, 162,75 mm a 154,75 mm, pomocí spojitě skenovací metody. Měření bylo nastaveno tak, aby stroj vyhodnotil jednu hodnotu odchylky rovinnosti.

Druhé měření bylo provedeno na stejných kružnicích, použitím spojitě skenovací metody, ale výsledek byl vyhodnocen pokaždé jen na jedné z kružnic. Na každé kružnici bylo měření provedeno třikrát. Na kružnici o průměru 162,75 mm bylo provedeno měření PLN5, PLN6, PLN 7. Na kružnici o průměru 158,75 mm bylo provedeno měření PLN 8, PLN 9, PLN 10. Na kružnici o průměru 154,75 mm bylo provedeno měření PLN 11, PLN 12 a PLN 13.



Obr. 4. 6 – Upnutí součásti



Obr. 4. 7 – Body pro ustavení a měření 3

4.4.2 Výsledky měření

Výsledky spojitě skenovací metody, vyhodnocené z měření na třech kružnicích o průměrech 158,75 mm, 162,75 mm a 154,75 mm.

Odchylka kruhovitosti měření PLN4 je **12,2 μm** .

Výsledky spojitě skenovací metody na jednotlivých kružnicích.

Odchylka rovinnosti naměřená na kružnici o průměru 162,75mm, měřena třikrát.

Pro měření PLN5 je **8,8 μm** .

Pro měření PLN6 je **8,5 μm** .

Pro měření PLN7 je **8,6 μm** .

Odchylka rovinnosti naměřená na kružnici o průměru 158,75mm, měřena třikrát.

Pro měření PLN8 je **8,7 μm** .

Pro měření PLN9 je **9,2 μm** .

Pro měření PLN10 je **9,8 μm** .

Odchylka rovinnosti naměřená na kružnici o průměru 154,75mm, měřena třikrát.

Pro měření PLN11 je ***8,8 μm*** .

Pro měření PLN12 je ***8,7 μm*** .

Pro měření PLN13 je ***8,6 μm*** .

Dále byla vyhodnocena odchylka rovinnosti z měření PLN5, PLN8 a PLN11.

Výsledkem je měření PLN 15, odchylka je ***12,1 μm*** .

Odchylka rovinnosti vyhodnocená z měření PLN6, PLN9 a PLN12.

Výsledkem je měření PLN 16, odchylka je ***12,7 μm*** .

Odchylka rovinnosti vyhodnocená z měření PLN7, PLN10 a PLN13.

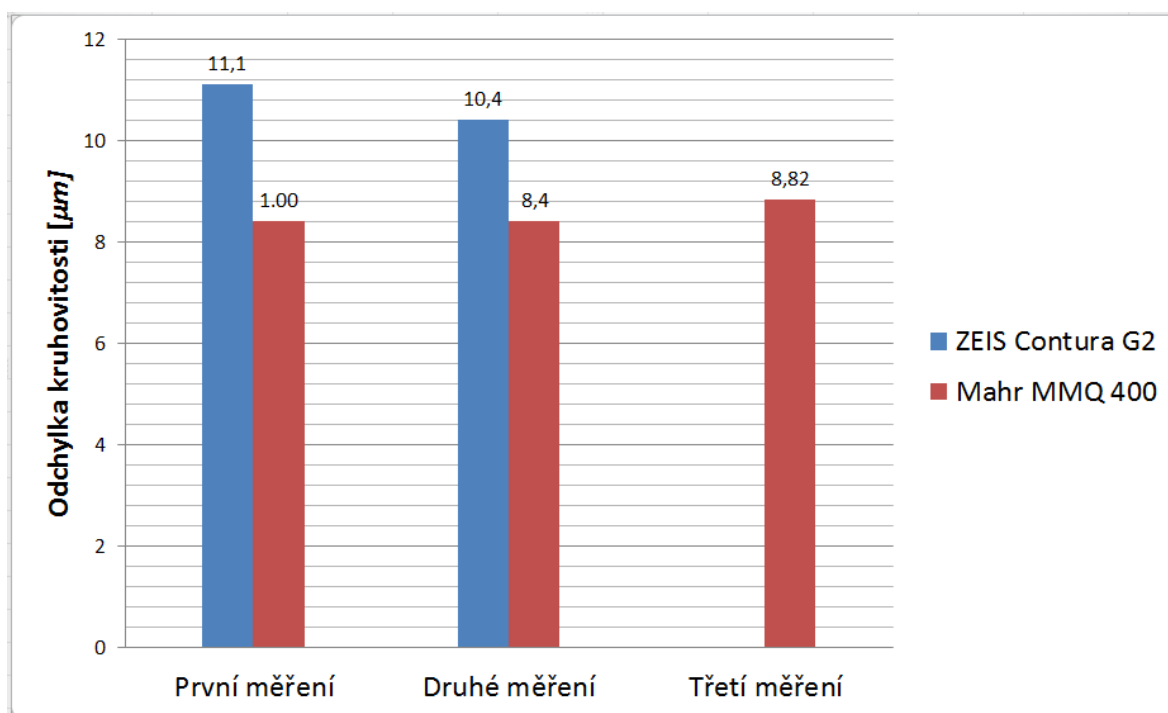
Výsledkem je měření PLN 17, odchylka je ***12.6 μm*** .

5. Vyhodnocení

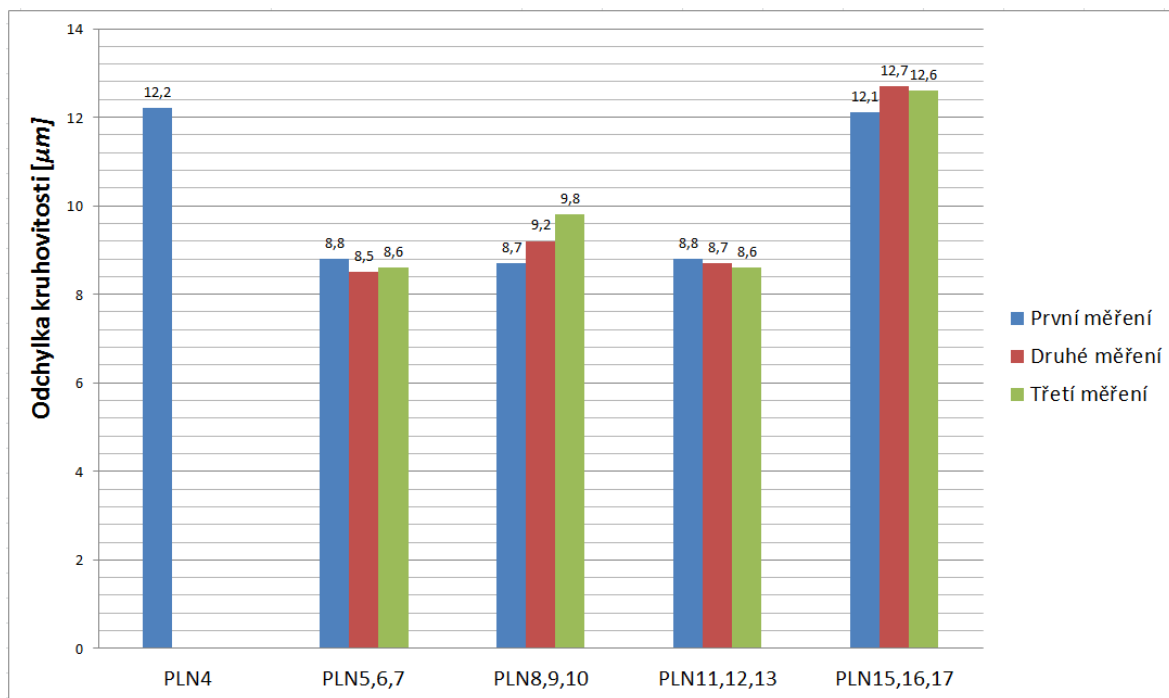
Naměřené hodnoty odchylky rovinnosti, naměřené ve firmě John Crane Sigma a.s, na stroji od firmy ZEIS a Mahr se liší z důvodu přesnosti stroje. Nastavená tolerance odchylky rovinnosti bylo nastaveno na 4 μm , podle tolerance uvedené na výkrese. Součást ovšem nebyla technologicky dokončena, nacházela se ve stavu před lapováním, proto požadovaná odchylka nebyla, ani nemohla být dodržena.

Měření na půdě Vysoké školy Báňské, na stroji od firmy Wenzel, bylo provedeno více způsoby a odlišnost výsledků je patrná. Důvody odlišnosti a problematika měření bude vyjasněno v kapitole 5.2. Pro měření jsme vzali v potaz nedokončený výrobní stav součásti a výsledky naměřené ve firmě. Z toho důvodu byla odchylka rovinnosti pro měření nastavena na hodnotu 10 μm .

5.1 Grafy naměřených hodnot



Obr. 5. 1 - Měření ve firmě



Obr. 5. 2 - Výsledky měření na VŠB

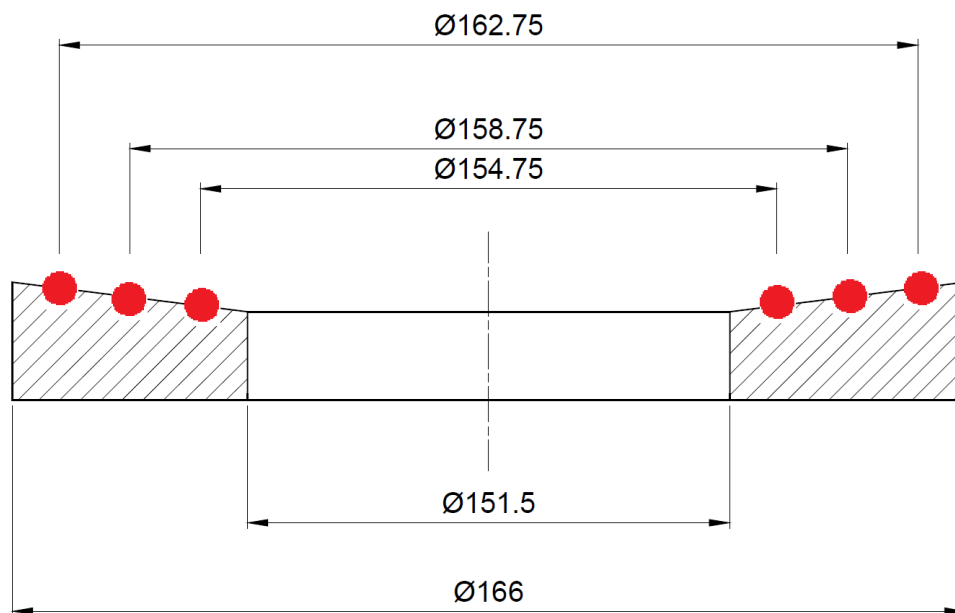
Kde:

PLN4 je měření vyhodnocené ze tří kružnic. PLN5,6,7 jsou tři měření na kružnici o průměru 162,75 mm. PLN8,9,10 jsou tři měření na kružnici o průměru 158,75 mm. PLN11,12,13 jsou tři měření na kružnici o průměru 154,75 mm a PLN15,16,17 jsou měření vyhodnocené z měření na jednotlivých kružnicích.

5.2 Vyhodnocení samotné problematiky

Z grafů na (Obr. 5.2), naměřených ve škole na stroji Wenzel LH65 X3M je patrné, že se výsledky naměřené odchylky rovinnosti dost liší a to v řádu až 4 μm. Všechny hodnoty naměřené jednotlivě, na roztečných kružnicích jsou si podobné, liší se pak hodnoty vyhodnocené na více průměrech najednou.

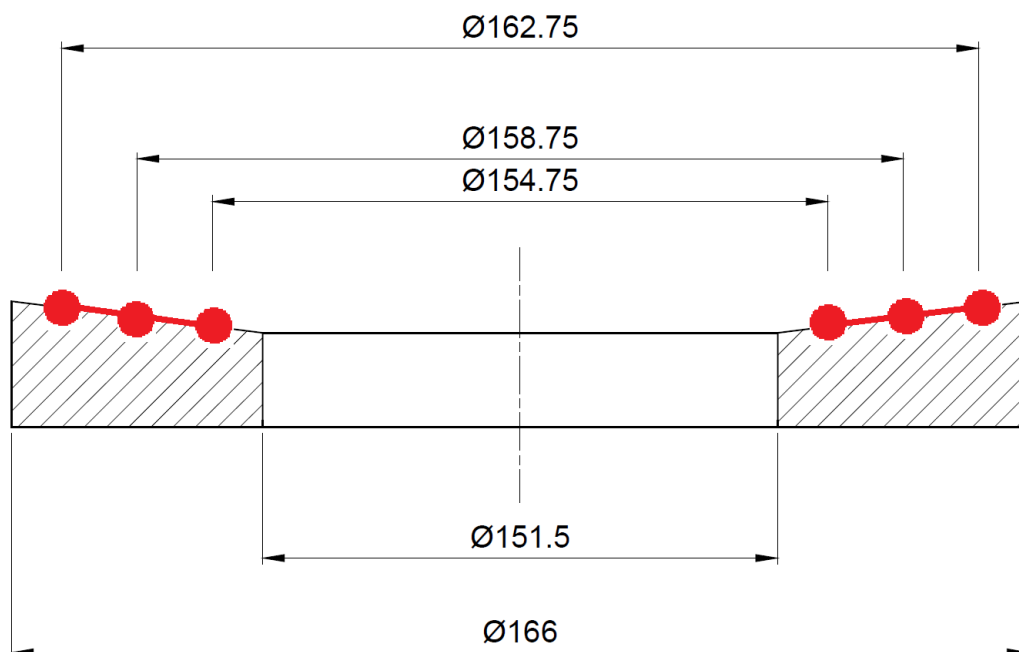
Měřením na jedné roztečné kružnici, na jakémkoliv průměru, vykazuje dobrou odchylku rovinnosti, jakmile se vezmou v úvahu tři průměry zaráz, a to na kružnicích o průměrech 162,75 mm, 158,75 mm a 154,75 mm, odchylka rovinnosti se razantně zhorší. Z toho je patrné, že součást jde mírně do úkosu, což bylo potvrzeno i souřadnicemi ve směru osy Z, tedy výškou jednotlivých měření na jednotlivých kružnicích. Pro názornost si problematiku ukážeme na následujícím obrázku (Obr. 5.3), který je pouze schématickým znázorněním součásti.



Obr. 5.3 - Schématické znázornění měření na jednotlivých kružnicích

Z obrázku je dobře vidět názornost problému. Jestliže změříme odchylku rovinnosti na jedné z roztečných kružnic, tedy v červených bodech (Obr. 5.3), odchylka bude vykazovat dobrou hodnotu, protože není vyhodnocena odchylka rovinnosti na celém měřeném povrchu. Patrný je i rozdíl výšek, tedy souřadnic v ose Z.

Když vyhodnotíme odchylku ze tří kružnic naráz, jako to bylo u měření PLN4, nebo u měření PLN15,16,17, odchylka bude z pochopitelných důvodů horší, protože bude vyhodnocena odchylka rovinnosti na celém povrchu a v potaz bude brán úkos součásti a s tím spojené rozdílné výšky jednotlivých kružnic. Pro názornost si problematiku ukážeme na následujícím obrázku (Obr. 5.4), který je pouze schématickým znázorněním součásti.



Obr. 5. 4 - Schématické znázornění měření, vyhodnoceno celkově

Z obrázku je jasně patrná zmiňovaná problematika. Měřením na více roztečných kružnicích nám v tomto případě vyhodnotí odchylku rovinnosti daleko objektivněji, než na jednotlivých kružnicích. Vyhodnotíme tak odchylku rovinnosti na celém povrchu, nebo na značné části povrchu, podle zvolených průměrů kružnic, což je v podstatě cílem měření.

5.3 Navrhované změny v postupu měření

- Při upnutí součásti do sklíčidel je třeba dbát na to, aby součásti nebyla upínána velkou silou. Zejména pak u upínání tenkých součástí o velkých průměrech je síla potřebná pro deformaci a zkroucení součásti upnutím velice malá. Ideální upnutí je pak takové, kdy součást podepíráme minimálně na třech bodech, co nejdál od sebe, nebo ji položíme na rovinnou podložku, tak jak tomu bylo při měření na stroji Wenzel.
- Před samotným měřením je třeba součást očistit, nejlépe lihem, nebo podobným prostředkem aplikovaným například na kousku hadry. Poté součást otřít suchým hadříkem, aby měření probíhalo na suchém povrchu. Nečistoty v podobě prachu, nebo otisku prstu se nemusí zdát velké, ale při měření na požadované přesnosti odchylky tvaru okolo 4 μm , vytvoří i otisk mastného prstu odchylku například 1 μm . Statická elektřina, která je vytvářena při dotykové skenovací metodě třením sondy o povrchu, přitahuje prachové částice, které nám při přejetí měřicí sondou vykazují nejistoty měření. Proto je i při opakovaném měření, mezi jednotlivými měřeními, součást lepší očistit.
- Při výběru dotyku je potřeba vybrat ten, který bude vykazovat dostatečnou tuhost dříku, kvůli vymezení průhybu a pružení měřeného dotyku. Při měření na stroji Wenzel, bylo použito dříku o větším průměru dříku, než ve firmě. Tužší dřík znamenal i použití většího průměru měřicí kuličky.
- Při samotném měření odchylky rovinnosti je lepší použít metodu pro vyhodnocení odchylky z více různých průměrů, jak bylo vysvětleno v kapitole 5.2. Vyhodnocení odchylky z jedné roztečné kružnice není špatný postup měření, ale jako takový nevyhodnotí odchylku na celém povrchu, což vede k zavádějícím, nepřesným hodnotám. Celé měření je třeba provést v CNC režimu, díky kterému eliminujeme chyby, které do měření mohl vnést operátor.

6. Závěr

Bakalářská práce byla zaměřena na měření geometrických tolerancí, konkrétně pak na odchylku rovinnosti. Odchylka rovinnosti je u součástí podobného typu, jako u použité měřené součásti, důležitým parametrem, jenž je odpovědný za těsnost, přiléhavost a neprodyšnost mechanických ucpávek. Nejběžnější způsob měření této odchylky je pomocí souřadnicových měřících strojů, které skenují měřenou součást pomocí přímých dotyků. Tento princip měření byl využit i v této práci.

V experimentální části bylo provedeno měření dohromady na třech různých strojích. Z těchto měření byly dvě provedeny ve firmě John Crane Sigma a.s. Vyhodnoceny byly nejen výsledky, ale i použité měřící postupy, běžně používané pracovníky při provozu. Třetí měření bylo provedeno na půdě VŠB – Technické univerzity v Ostravě, v měřících laboratořích. Cílem tohoto měření bylo nejen porovnání naměřených výsledků, pomocí stejných metod, jenž byly použity ve firmě, ale i navržení vhodné metodiky samotného měření.

Na základě měření provedených ve škole, bylo dosaženo velkých rozdílů při měření. Pomocí těchto výsledků a hodnot při samotném měření byla vyvozena problematika týkající se měření. Použití spojitě skenovací metody na jedné roztečné kružnici nevyhodnotí odchylku rovinnosti dostatečně. Měření bylo vyhodnoceno více způsoby a vyhodnocení poukázalo na tento problém.

Jako vhodný měřící postup se jeví vyhodnotit odchylku rovinnosti z měření na více roztečných kružnicích a tím pádem vyhodnotit odchylku na celém měřeném povrchu. Mezi další problémy, které ovlivňují správnost měření, bylo zařazeno upnutí, jehož upínací silou je možné způsobit deformaci součásti. Je důležité dávat si pozor také na správné očištění součásti před měření, protože sebemenší nečistoty, například v podobě otisků prstů, nebo smítek prachu, nepříznivě zkreslují výsledné naměřené hodnoty. V neposlední řadě je nutné dbát na správně zvolený, tuhý měřící dotek, který musí odolávat silám, které jsou na něj při měření skenovací metodou kladeny třením mezi dotykem a součástí. Zapnutím CNC režimu se eliminují chyby, které operátor mohl vnést při měření.

Během měření odchylek připadá v potaz mnoho aspektů, které ovlivňují správnost měření. Některé z nich jsme vzali v potaz, práce by ovšem musela být daleko obsáhlejší, aby vzala v potaz a zabývala se úplně všemi.

Seznam použité literatury



- [1] TVARDEK, Michal. *Možnosti měření geometrické přesnosti obrobku*. Brno, 2010. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
- [2] Úchylky tvaru. *Eluc.kr-olomoucky.cz*. [online]. [cit. 2016-03-18]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1099>
- [3] VANČURA, Martin. *Vliv technologie obrábění na odchylky kruhovitosti*. Ostrava, 2010. Diplomová práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.
- [4] DOVICA, Miroslav. *Metrológia v strojárstve*. Vyd. 1. Košice: Emilena, 2006. ISBN 8080734070.
- [5] Souřadnicové měřicí stroje. *Katedra výrobních systémů a automatizace*. [online]. [cit. 2016-03-16]. Dostupné z: <http://www.ksa.tul.cz/getFile/id:2522>
- [6] PERNIKÁŘ, Jiří, Josef VAČKÁŘ a Miroslav TYKAL. *Jakost a metrologie*. Brno: CERM, 2001. Učební texty vysokých škol. ISBN 8021419970.
- [7] ČSN 17021. *EJMAFLEX*. [online]. [cit. 2016-02-18]. Dostupné z: <http://www.maflex.cz/informace/17021pdf/>
- [8] DYK, Ondřej. *Měření úhylek rovinnosti na obráběcích strojích ve firmě TOS Kuřim OS a.s.* Plzeň, 2014. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Ing. Zdeněk Pospěch, Ph.D.
- [9] MARFORM MMQ 400 univerzální stroj na měření tvarů. *MAHR*. [online]. [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: <http://www.mahr.cz/cs/Produkty-a-slu%C5%BEby/V%C3%BDrobn%C3%AD-m%C4%9B%C5%99ic%C3%AD-technika/Produkty/MarForm---Stoln%C3%AD-tester-na-kontrolu-tvar%C5%AF/MarForm-MMQ-400/>
- [10] ZEISS CONTURA. *ZEISS*. [online]. [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: http://www.zeiss.cz/industrial-metrology/cs_cz/produkty/systemy/bridge-type-cmms/contura.html
- [11] Metrologie a řízení kvality. *Projekty s podporou EU* [online]. [cit. 2016-03-25]. Dostupné z: http://projekty.fs.vsb.cz/459/ucebniopory/Metrologie_a_rizeni_kvality.pdf
- [12] Norma ČSN EN ISO 1101. *Geometrické tolerování - Tolerance tvaru, orientace, umístění a házení*. Duben. 2006.
- [13] Norma ISO 12780. *Geometrical product specifications - Straightness*. Duben. 2011.
- [14] Norma ISO 12781. *Geometrical product specifications - Flatness*. Duben. 2011.

- [15] Norma ISO 12181. *Geometrical product specifications - Roundness*. Duben. 2011.
- [16] Norma ISO 12180. *Geometrical product specifications - Cylindricity*. Leden. 2003.
- [17] Norma ČSN EN ISO 12781-1. *Geometrické specifikace produktu (GPS) - Rovinnost - Část I*. Leden. 2012.
- [18] 1.4006 stainless stell. *Lucefin*. [online]. [cit. 2016-04-10]. Dostupné z: http://www.lucefin.com/wp-content/files_mf/1.4006a410.pdf
- [19] 3D měření. *Plastika* [online]. [cit. 2016-04-01]. Dostupné z: <http://www.plastika.cz/3d.htm>

Seznam příloh

- Příloha 1:** Protokoly o měření na stroji ZEISS Contura G2.
- Příloha 2:** Protokoly o měření na stroji Mahr MMQ 400.
- Příloha 3:** Protokoly o měření na stroji Wenzel LH65 X3M.
- Příloha 4:** Výrobní výkres součástí.

Příloha 1: Měření na stroji ZEISS Contura G2.

Purchase Order Number-Part Number: * u_PON *	CMM CONT_G2		
LPN-Revision Level:	CMM No. 300020 / K118		
Drawing No.			
Temperature workpiece 21.60	Operator Riha T.		
Measurement Plan rovinnost 02	Datum 19.2.16	Time 8:46:28 am	

Name	Aktual	Nominal	pos Tol	neg Tol	Diff	<-- -->
------	--------	---------	---------	---------	------	---------





Overall Result

All Characteristics:	1
...In Tolerance:	0
...Out of tolerance:	1
...Over Warning Limit:	0
...Not Calculated:	0
Total Coord. systems:	1
...Not Calculated:	0
Total Text elements:	0

 Flatness1	0.0111	0.0000	0.0040		0.0111	0.0071
---	--------	--------	--------	--	--------	--------

Výsledky prvního měření


Purchase Order Number-Part Number: * u_PON *	CMM CONT_G2		
LPN-Revision Level:	CMM No. 300020 / K118		
Drawing No.			
Temperature workpiece	Operator Riha T.		
Measurement Plan rovinnost 02	Datum 19.2.16	Time 8:50:03 am	

Name	Aktual	Nominal	pos Tol	neg Tol	Diff	<-- -->
------	--------	---------	---------	---------	------	---------



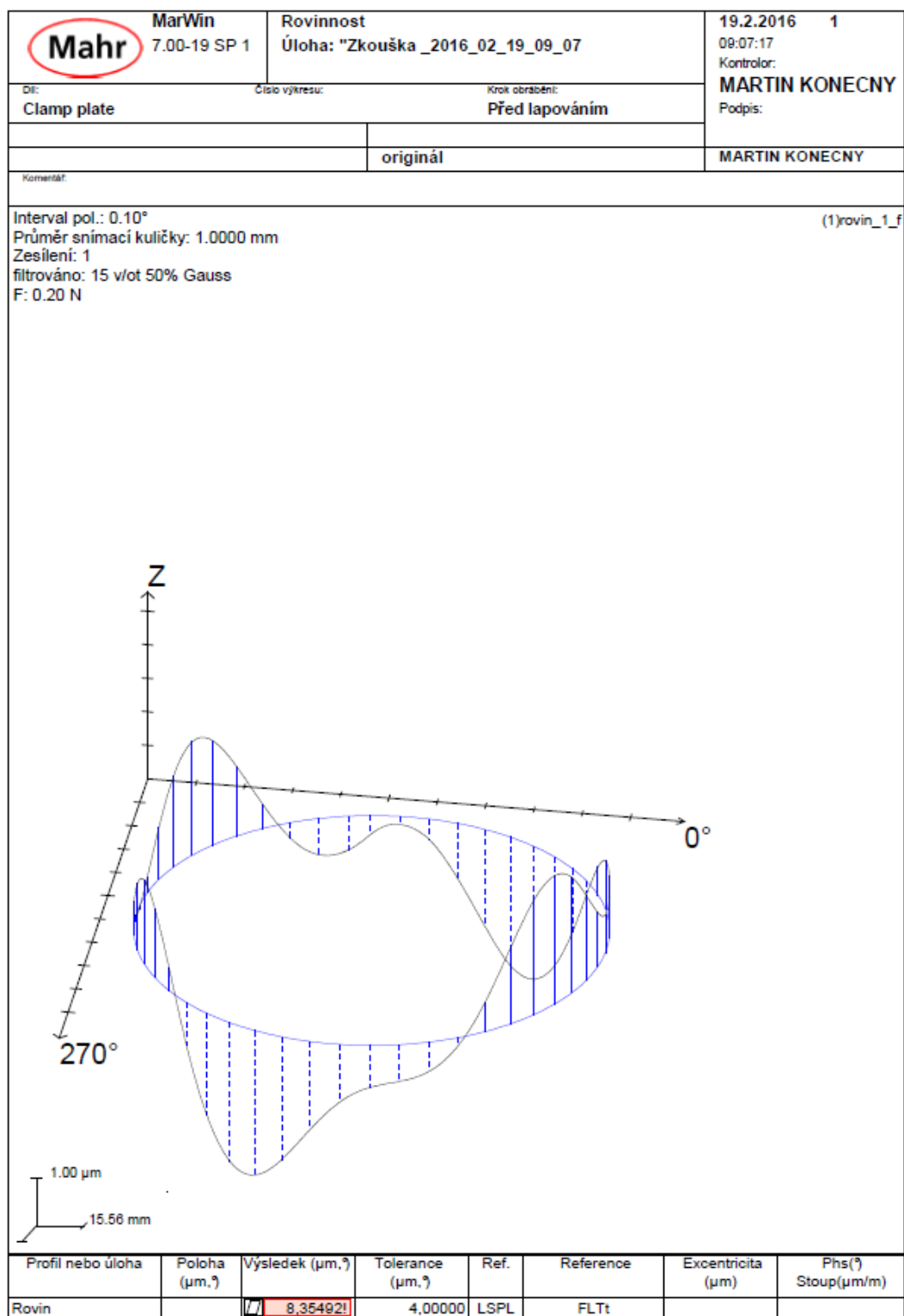
Overall Result

All Characteristics:	1
...In Tolerance:	0
...Out of tolerance:	1
...Over Warning Limit:	0
...Not Calculated:	0
Total Coord. systems:	1
...Not Calculated:	0
Total Text elements:	0

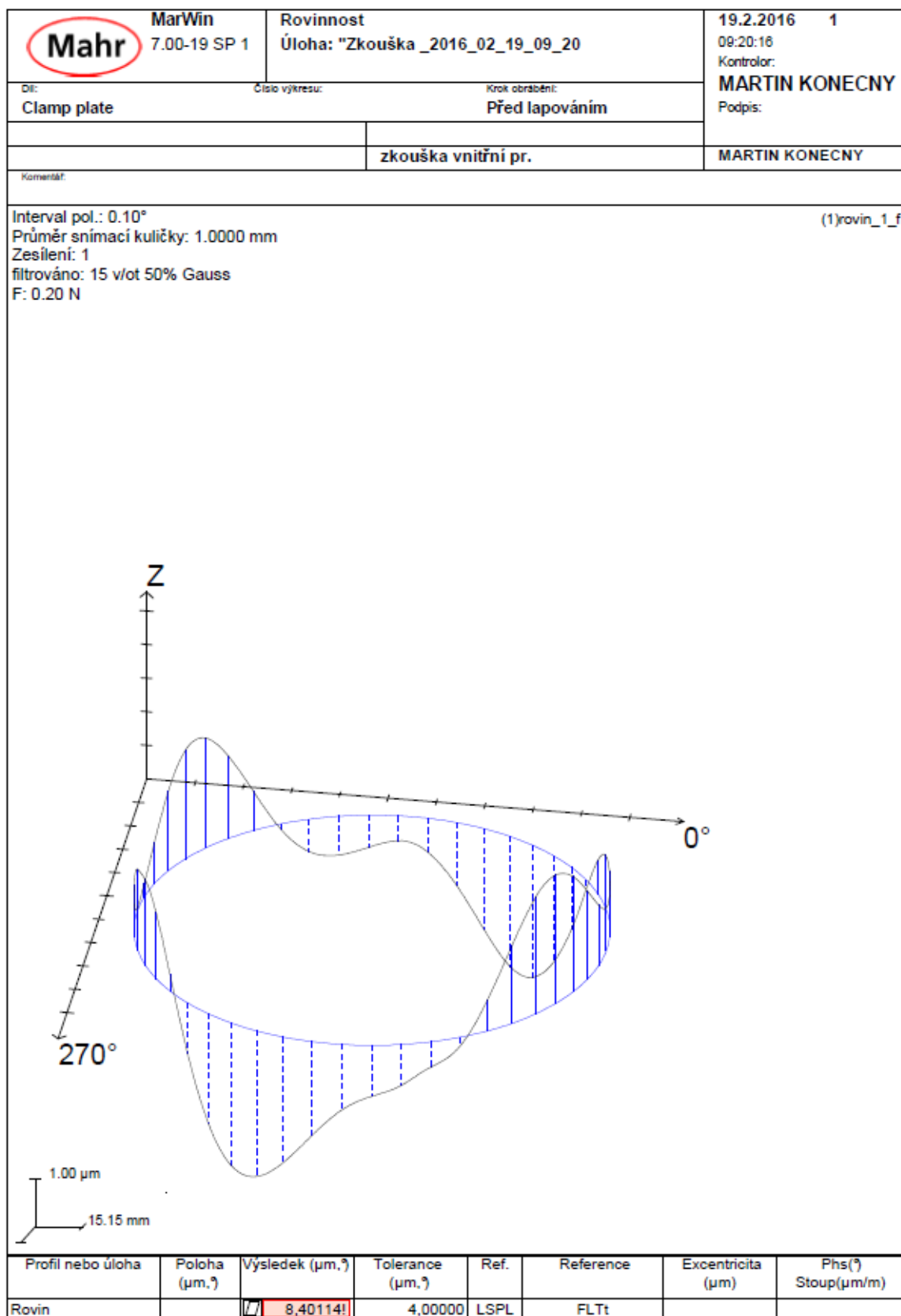
 Flatness1	0.0104	0.0000	0.0040		0.0104	0.0064
---	--------	--------	--------	--	--------	--------

Výsledky druhého měření

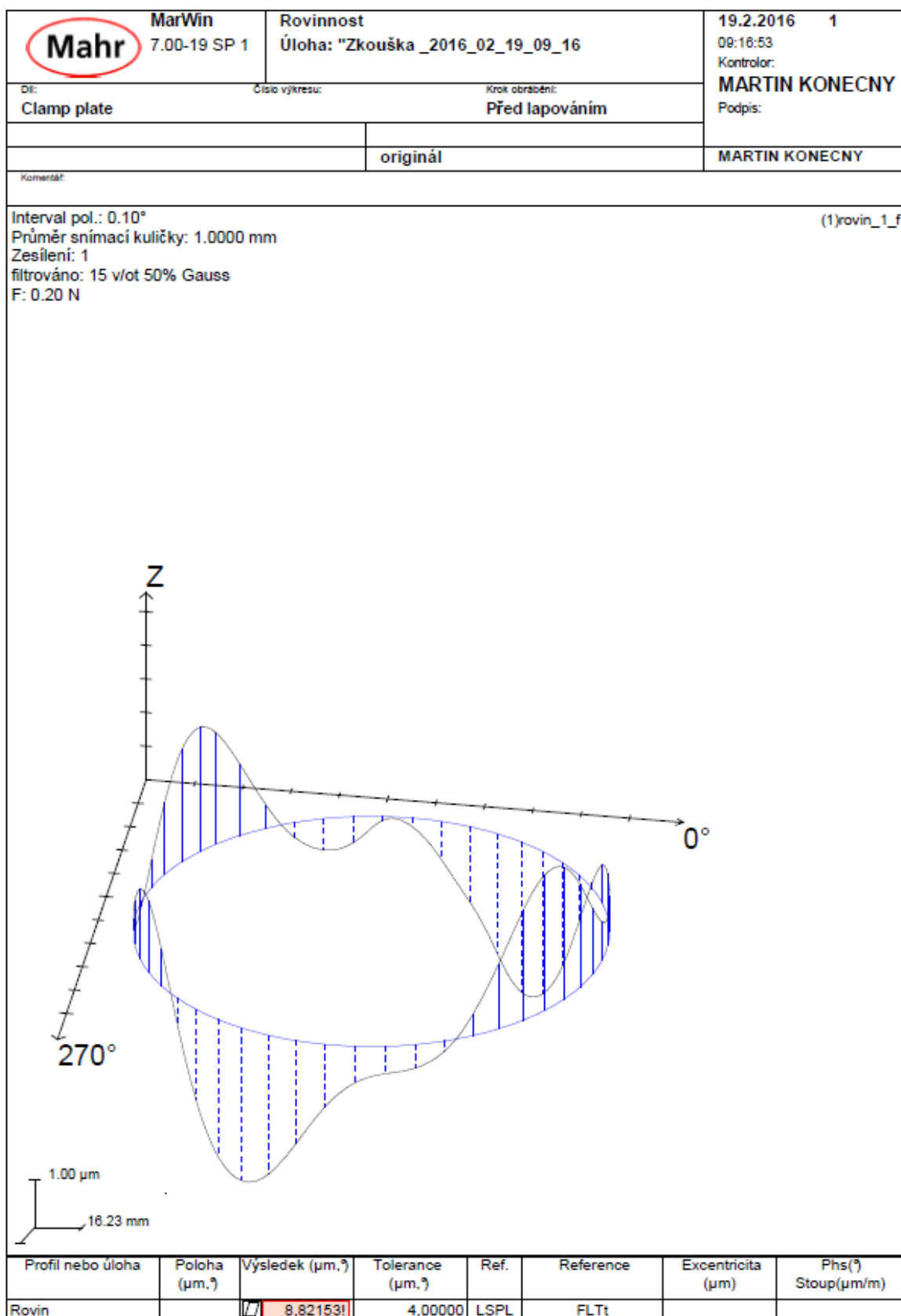
Příloha 2: Měření na stroji Mahr MMQ 400.



Výsledky prvního měření

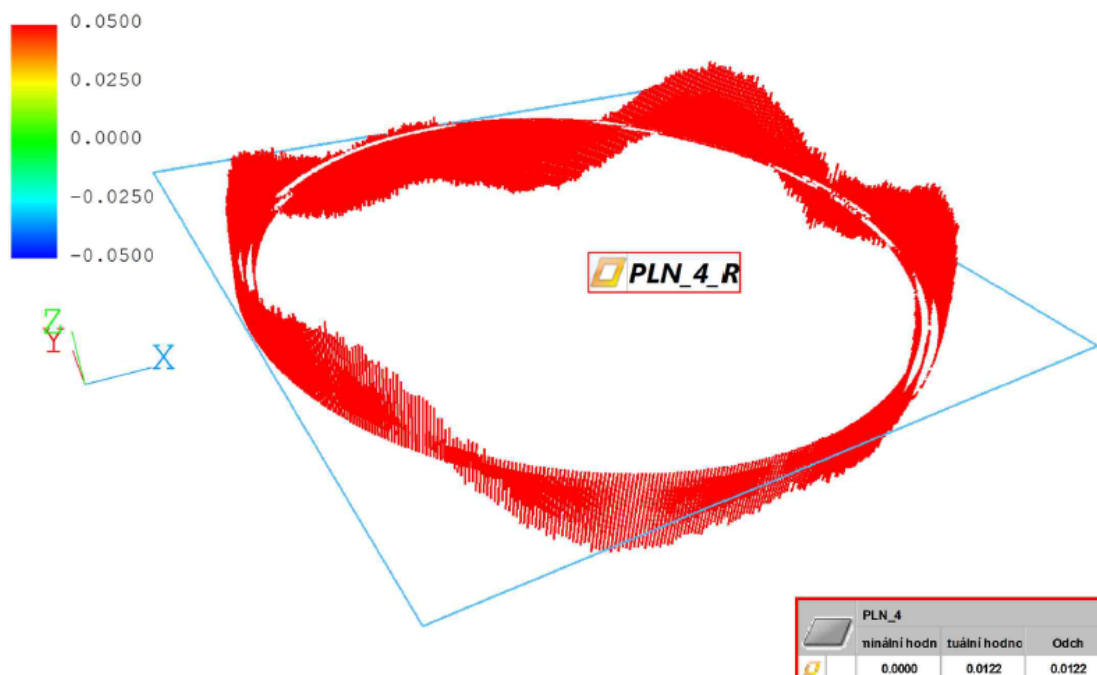


Výsledky druhého měření

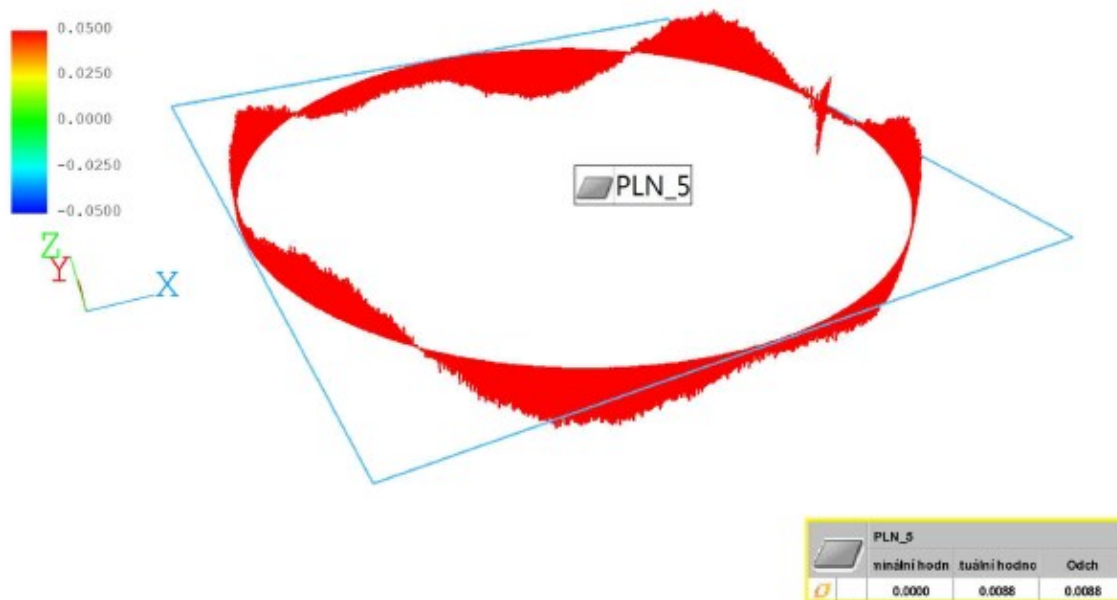


Výsledky třetího měření

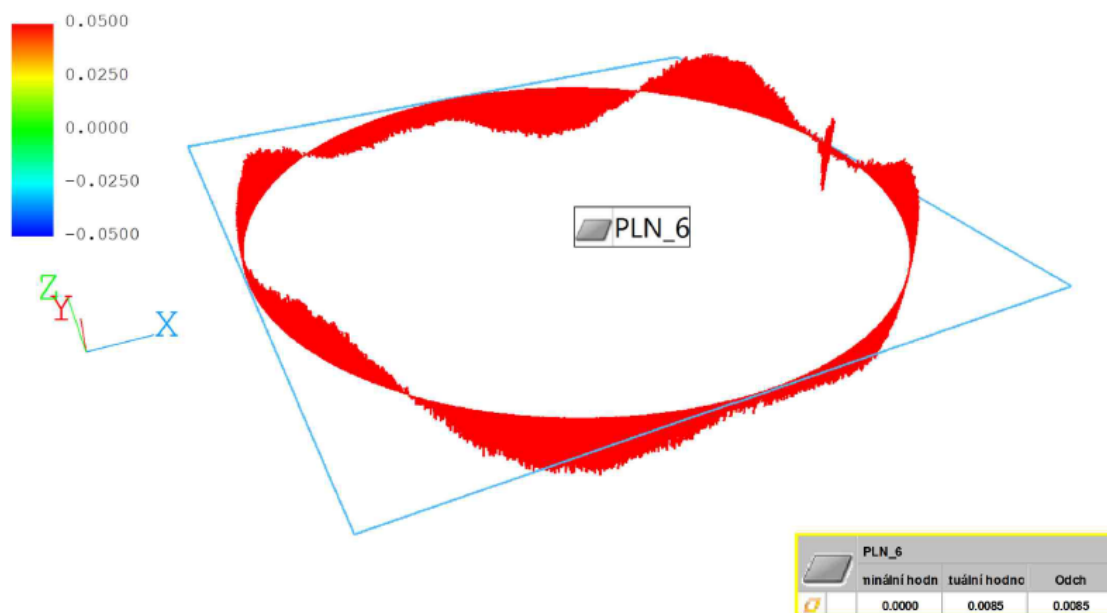
Příloha 3: Měření na stroji Wenzel LH65 X3M.



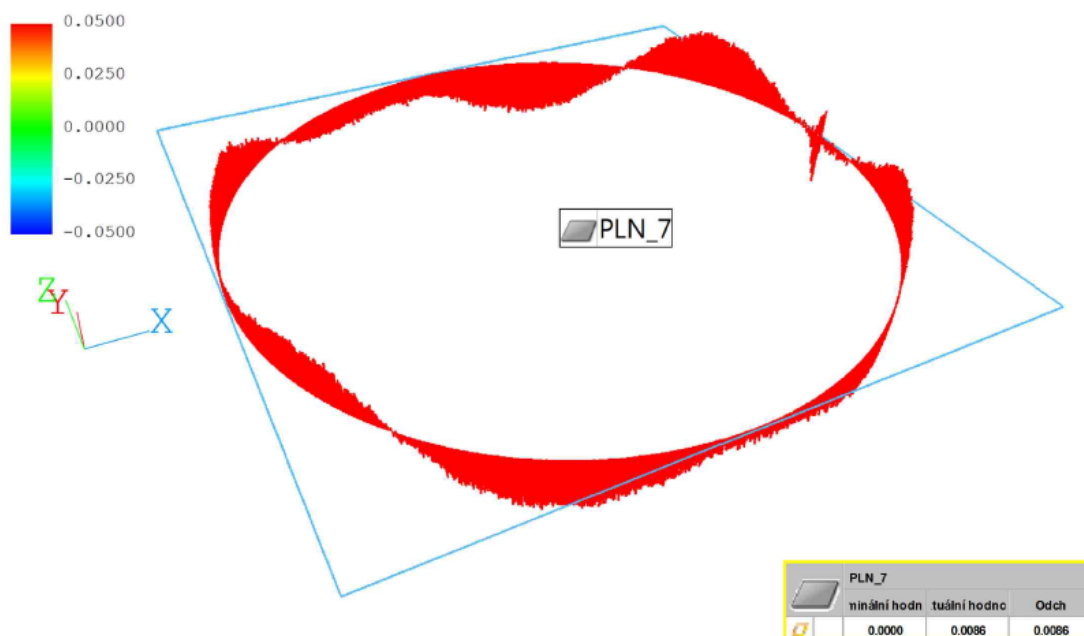
Výsledný graf měření PLN4



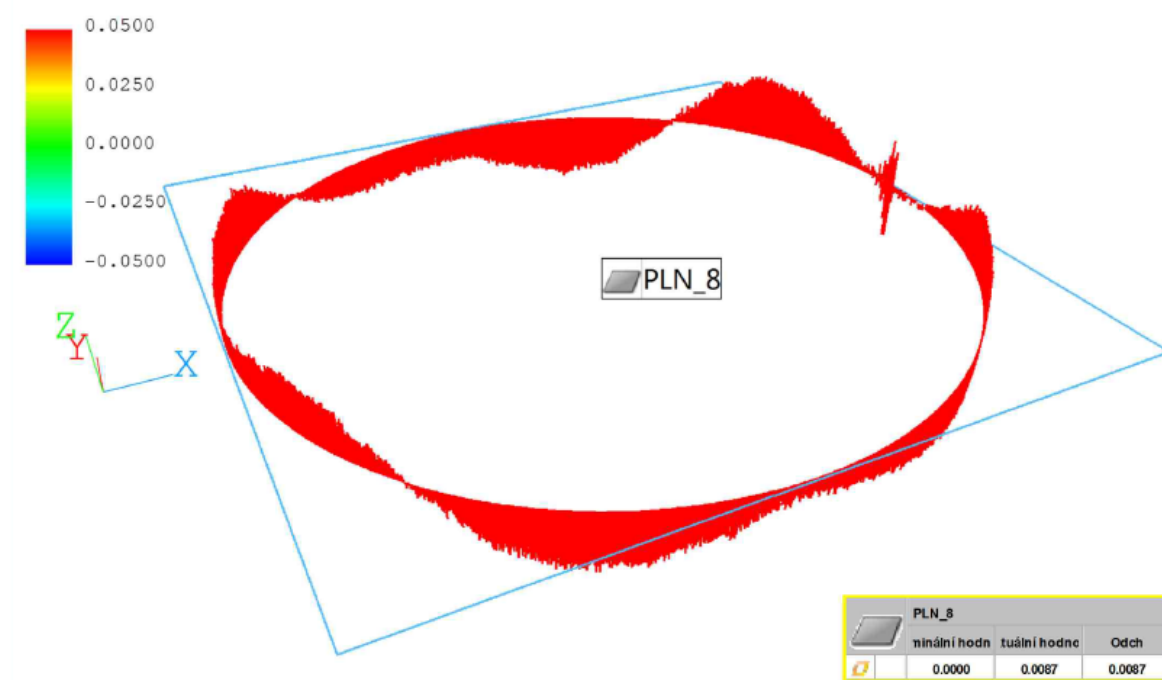
Výsledný graf měření PLN5



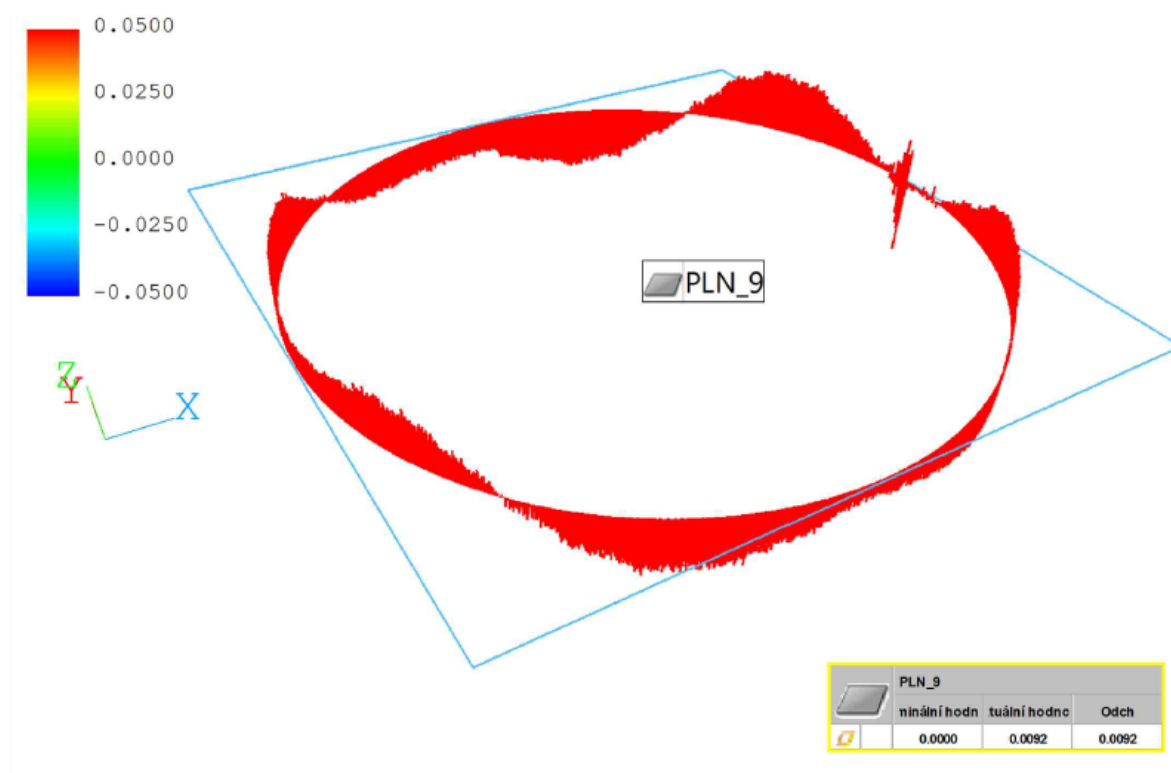
Výsledný graf měření PLN6



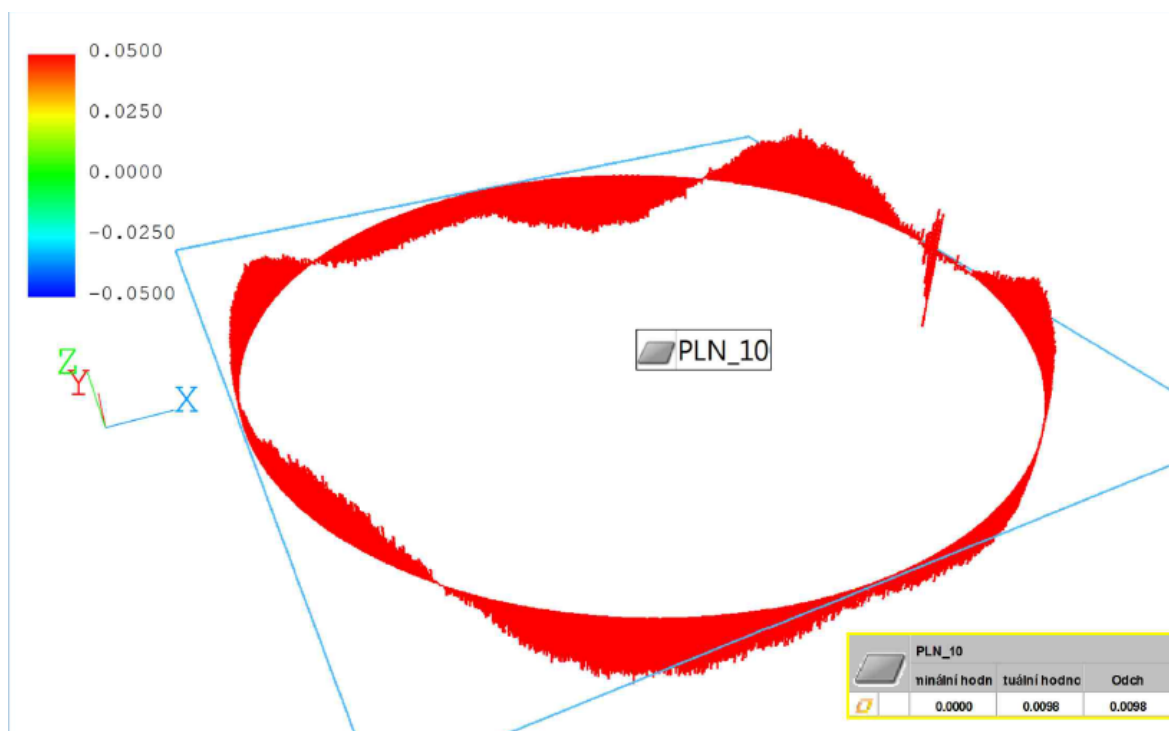
Výsledný graf měření PLN7



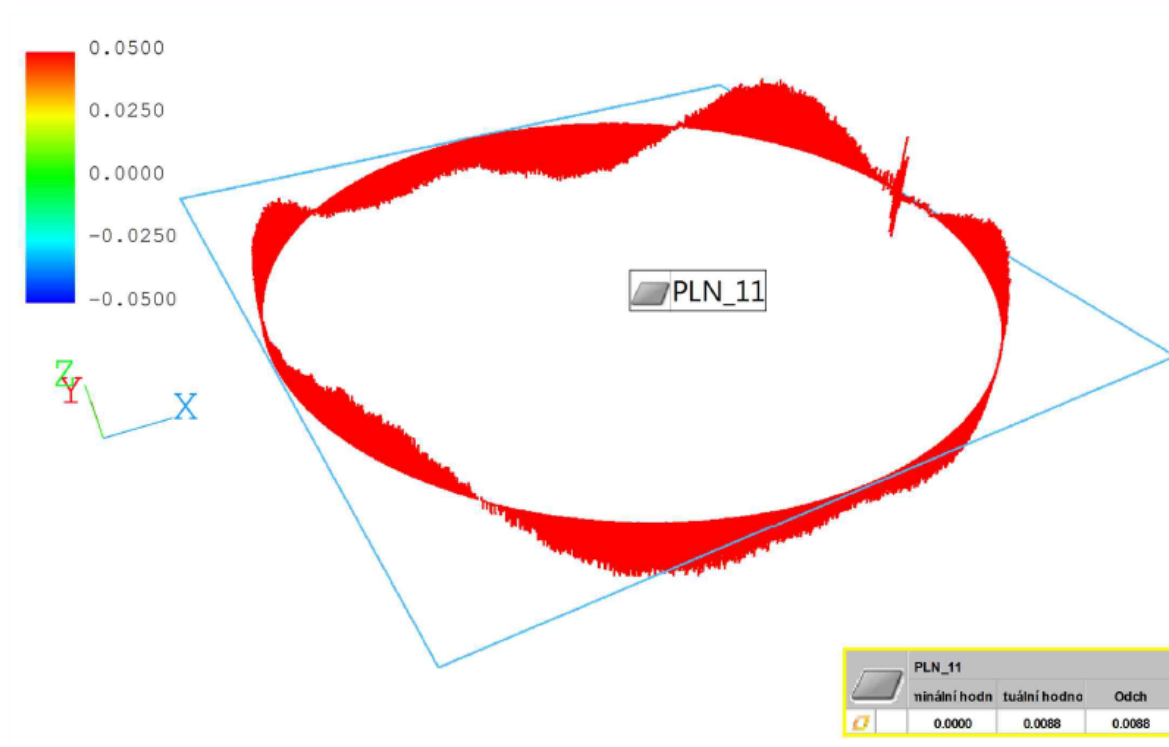
Výsledný graf měření PLN8



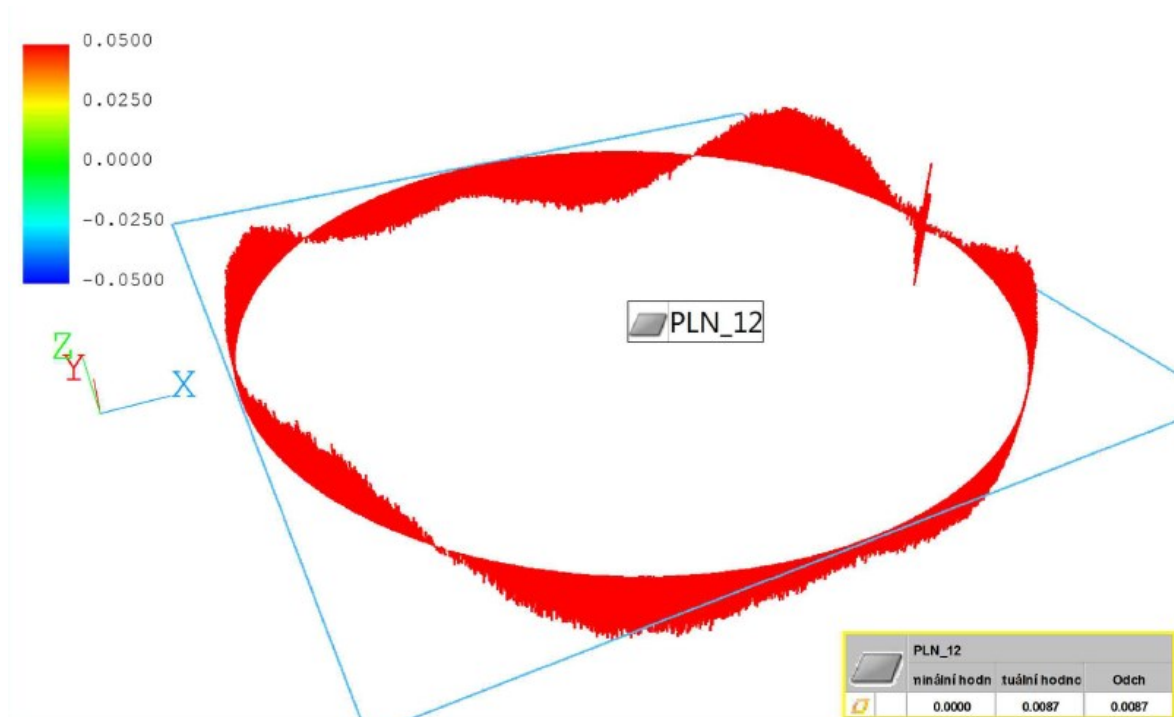
Výsledný graf měření PLN9



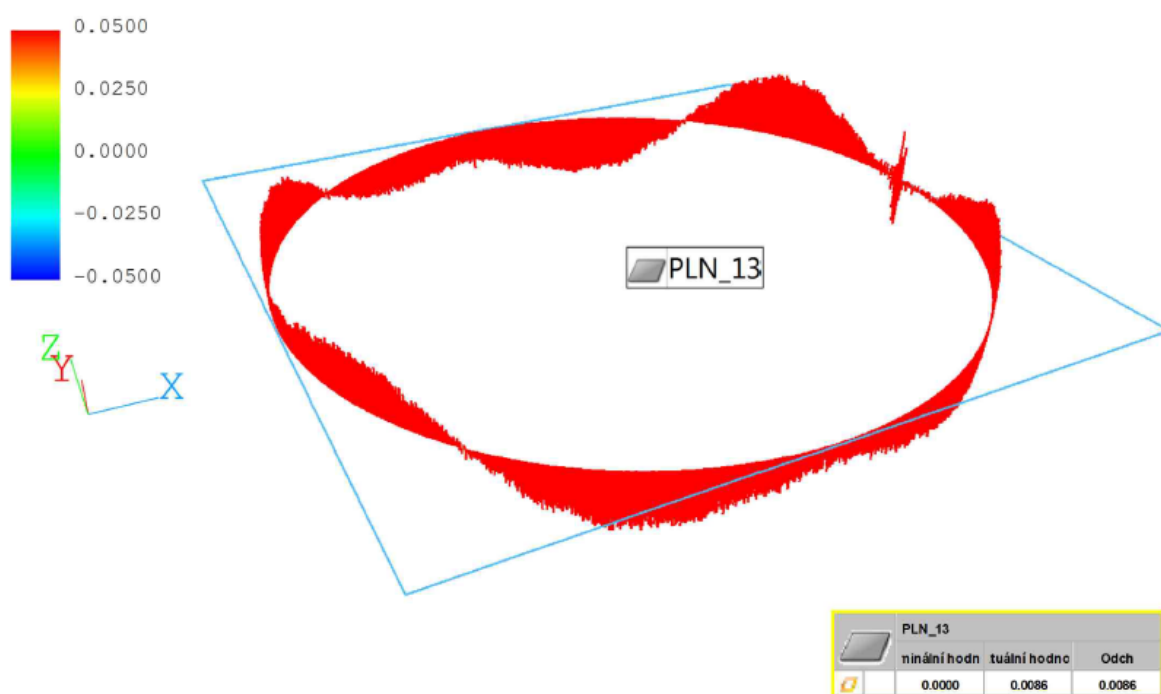
Výsledný graf měření PLN10



Výsledný graf měření PLN11



Výsledný graf měření PLN12



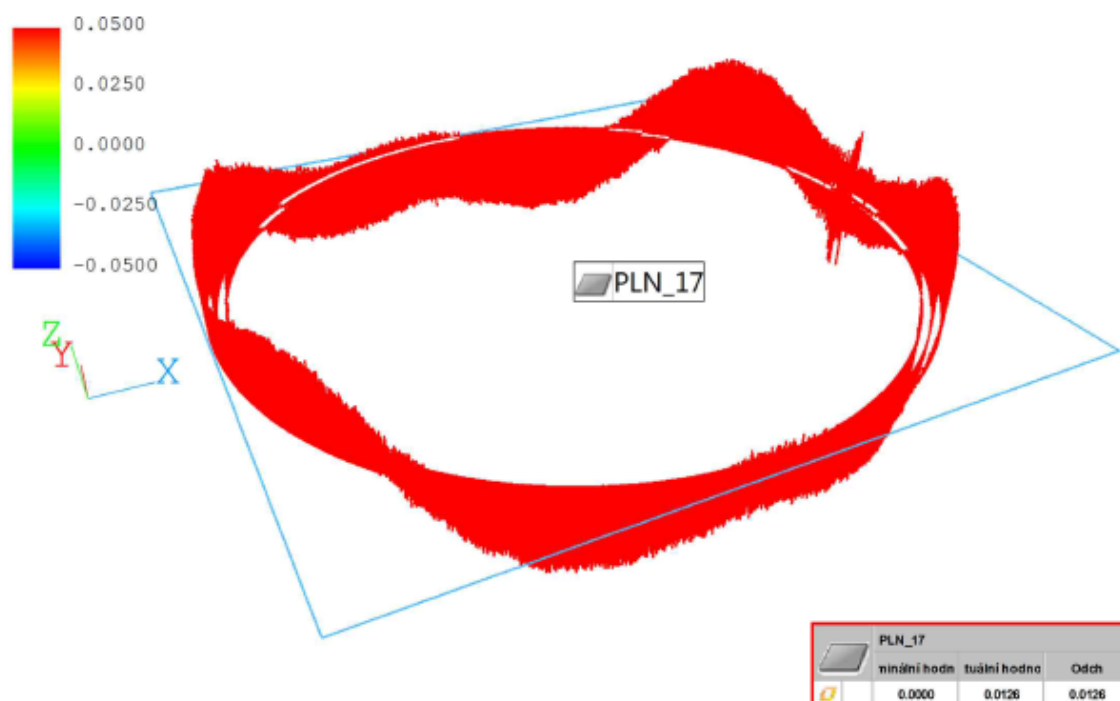
Výsledný graf měření PLN13



Výsledný graf měření PLN15



Výsledný graf měření PLN16



Výsledný graf měření PLN17

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucí mé bakalářské práce, Ing. Lence Čepové, Ph.D. za její odborné rady, podnětné návrhy a čas při konzultacích a měřeních, který mi věnovala. Dál bych chtěl poděkovat Ing. Janu Veselému a Ing. Aleši Urbančíkovi, kteří semnou jednali ve jménu firmy John Crane Sigma a.s., věnovali mi čas pro konzultace a měření, dále pak taky pracovníkům, kteří obsluhovali měřicí stroje ve firmě.